

**SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI YOGHURT
DENGAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS METODE BEDA
HINGGA**

SKRIPSI

Oleh:
ADILAH ISTIQOMAH
NIM. 16640047



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI YOGHURT
DENGAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS METODE BEDA
HINGGA**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
ADILAH ISTIQOMAH
NIM. 16640047**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI YOGHURT DENGAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS METODE BEDA HINGGA

SKRIPSI

Oleh:

Adilah Istiqomah
NIM. 16640047

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 05 Mei 2021

Pembimbing I

Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T.
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II

Drs. Abdul Basid, M.Si.
NIP. 19650504 199003 1 003



Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si.
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI YOGHURT DENGAN ANALISIS PERPINDAHAN PANAS METODE BEDA HINGGA

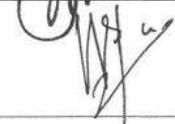


SKRIPSI

Oleh:

Adilah Istiqomah

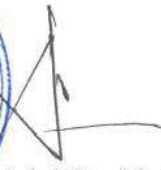
NIM. 16640047

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 05 Juni 2021

Penguji Utama :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si.</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si.</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji :	<u>Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T.</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika




Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

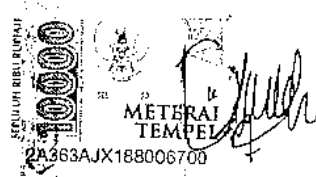
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Adilah Istiqomah
NIM : 16640047
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Yoghurt dengan Analisis Perpindahan Panas Metode Beda Hingga

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 05 Juni 2021
Yang Membuat Pernyataan



Adilah Istiqomah
NIM. 16640047

MOTTO

Istirahat hanya di surga

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

- Kedua orang tua tercinta yang pengorbanannya tak kan pernah sanggup terbalas, Bapak Samsul Hadi dan Ibu Fatimatuzzahroh
- Seluruh guru yang telah mengajar dari TK hingga saat ini, terimakasih atas segala ilmu yang diberikan.
- Semua saudara dan teman sekalian, khususnya Ainina, Teh Ocha dan Eva terimakasih atas bantuan, doa dan motivasi yang telah diberikan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Yoghurt dengan Analisis Perpindahan Panas Metode Beda Hingga”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus Dosen pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dalam bidang integrasi sains dan Al-Quran.
4. Bapak Farid Samsu Hananto, S.Si.,M.T. selaku dosen pembimbing dan selaku Dosen wali yang senantiasa memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi dan ilmu pengetahuan.
5. Bapak Khusnul Yakin, M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
6. Segenap dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
7. Orangtua tersayang dan teman-teman jurusan Fisika angkatan 2016 serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu, penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 05 Juni 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Yoghurt	6
2.1.1 Distribusi Yoghurt	6
2.1.2 Kemasan Yoghurt.....	8
2.2 Perpindahan Panas	10
2.2.1 Konduksi	11
2.2.2 Konveksi	11
2.2.3 Radiasi	12
2.3 Perpindahan Panas Pada Silinder	12
2.4 Persamaan Differensial Parsial (PDP)	13
2.4.1 PDP Eliptik	13
2.4.2 PDP Parabolik.....	13
2.4.3 PDP Hiperbolik.....	13
2.5 Metode Beda Hingga.....	14
2.6 Skema Metode Beda Hingga.....	16
2.6.1 Skema Eksplisit	17
2.6.2 Skema Implisit	18
2.6.3 Skema <i>Crank-Nicolson</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan	21
3.4 Diagram Alir	22
3.4.1 Diagram Alir Eksperimen.....	22
3.4.2 Diagram Alir Simulasi	23
3.5 Prosedur Penelitian.....	24

3.5.1 Proses Eksperimen.....	24
3.5.2 Proses Simulasi.....	26
3.6 Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Matematis.....	28
4.2 Sifat Termal Material Kemasan dan Yoghurt	34
4.3 Data Hasil Penelitian.....	35
4.3.1 Hasil Eksperimen.....	35
4.3.2 Proses Eksperimen.....	36
4.4 Perbandingan Hasil Penelitian	38
4.5 Pengukuran pH Yoghurt Terhadap Perubahan Suhu Lingkungan	40
4.6 Integrasi dalam Al-Qur'an	41
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Eksplisit Pada Persamaan Perambatan Panas	17
Gambar 2.2	Skema Implisit Pada Persamaan Perambatan Panas	18
Gambar 4.1	Desain Botol dan Koordinat Silinder Botol.	30
Gambar 4.2	Grafik Peningkatan Suhu pada Kemasan Botol PET	35
Gambar 4.3	Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu 27°C pada waktu 30,60,180 menit	37
Gambar 4.4	Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu Lingkungan 27°C dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi	38
Gambar 4.5	Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan HDPE Suhu Lingkungan 27°C dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi	39
Gambar 4.6	Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan Kaca Suhu Lingkungan 27°C dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Pengukuran Suhu Yoghurt Variasi Suhu Lingkungan 27°C	24
Tabel 3.2	Pengukuran Suhu Yoghurt Variasi Suhu Lingkungan 30°C	25
Tabel 3.3	Pengukuran Suhu Yoghurt Variasi Suhu Lingkungan 33°C	25
Tabel 3.4	Pengukuran pH Yoghurt	26
Tabel 4.1	Sifat Termal Material Kemasan dan Bahan Penelitian	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengukuran Suhu Pada Eksperimen

Lampiran 2 Hasil Pengukuran pH Pada Eksperimen

Lampiran 3 Grafik Kenaikan Suhu Pada Eksperimen

Lampiran 4 Hasil Simulasi MATLAB

Lampiran 5 Grafik Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi

Lampiran 6 Bukti Konsultasi Skripsi

ABSTRAK

Istiqomah, Adilah. 2021. **Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Yoghurt Dengan Analisis Perpindahan Panas Metode Beda Hingga**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, S.Si.,M.T (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Kata Kunci: Yoghurt, Perpindahan Panas, Kemasan, Kualitas

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu maksimum yang diperlukan yoghurt hingga mencapai suhu maksimum pada proses distribusi. Penyimpanan pada suhu rendah merupakan salah satu cara pengendalian dari pembiakan mikroorganisme. Yoghurt harus dijaga suhunya tetap dibawah 10°C sampai produk terdistribusikan terhadap konsumen. Suhu penyimpanan yoghurt yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya fluktuasi suhu yang berpengaruh terhadap kualitas yoghurt. Parameter yang digunakan untuk mengetahui penurunan kualitas yoghurt dalam penelitian ini adalah nilai pH. Proses simulasi menggunakan MATLAB dilakukan untuk mengetahui estimasi waktu maksimum untuk distribusi yoghurt dan material kemasan yang tepat untuk yoghurt. Proses eksperimen juga dilakukan sebagai perbandingan dan untuk menganalisis keakurasian hasil simulasi. Hasil simulasi menunjukkan skema perpindahan panas yang terjadi di dalam kemasan yoghurt. Perbedaan laju perpindahan panas dipengaruhi oleh sifat termal kemasan dimana semakin rendah konduktivitas termal dan semakin tinggi nilai densitas maka semakin baik kemasan tersebut mempertahankan suhu awal yoghurt. Kemasan kaca mengalami laju perpindahan panas paling lambat dengan waktu 90 menit sampai yoghurt mengalami penurunan pH dalam suhu lingkungan.

ABSTRACT

Istiqomah, Adilah. 2021. **The Simulation of Maximum Time of Yoghurt Distribution with Heat Transfer Analysis and Finite Difference Method.** Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisors: (I) Farid Samsu Hananto, S.Si.,M.T (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Keywords: Yoghurt, Heat Transfer, Packaging, Quality

This study aims to determine the maximum time required for yogurt to reach the maximum temperature in the distribution process. The storage at low temperatures is one way of controlling the propagation of microorganisms. Yogurt must be kept at a temperature below 10°C until the product is distributed to consumers. Yogurt storage temperature that is too high causes temperature fluctuations that affect the quality of yogurt. However, the parameter used to determine the decline in the quality of yogurt in this study is pH value. The simulation process using MATLAB is carried out to determine the maximum time estimate for the distribution of yogurt and the good packaging material. The experimental process is also carried out to compare and analyze the accuracy of the simulation results. The simulation results show the heat transfer scheme that occurs in the yogurt packaging. The difference in heat transfer rate is influenced by the thermal properties of the packaging; the lower thermal conductivity and the higher the density value will make the better packaging to maintain the initial temperature of the yogurt. In addition, glass packaging experiences the slowest rate of heat transfer with a time of 90 minutes until the yogurt decreased in pH at ambient temperature.

الملخص

إستقامة, عادله. 2021. المحاكاة في الوقت الأقصى لتوزيع الزبادي مع تحليل انتقال الحرارة بطريقة الفروق المحدودة. البحث العلمي. قسم الفيزياء. كلية العلوم و التكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم مالانج الإسلامية الحكومية. المشرف: (1) فارد شمس هرنانطا الماجستر, (2) عبد الباسط الماجستر

الكلمات الرئيسية: الزبادي, انتقال الحرارة, التعبئة والتغليف, جودة

تهدف هذا البحث لتحديد الوقت الأقصى الذي يحتاج عن الزبادي للوصول إلى درجة الحرارة الأقصى في عملية التوزيع. يعد التخزين في درجات حرارة منخفضة إحدى طرق التحكم في انتشار الكائنات الحية الدقيقة. يجب حفظ الزبادي عند درجة حرارة أقل من 10 درجة مئوية حتى يتم توزيع المنتج على المستهلكين. تسبب درجة حرارة تخزين الزبادي العالية جدًا تقلبات في درجات الحرارة الذي يؤثر على جودة الزبادي. المعلمة المستخدمة لتحديد انخفاض جودة الزبادي في هذا البحث هي قيمة الرقم الهيدروجيني. تم تنفيذ عملية المحاكاة باستخدام MATLAB لتحديد الحد الأقصى لتقدير الوقت لتوزيع الزبادي ومواد التعبئة والتغليف المناسبة للزبادي. كما تجر العملية التجريبية لمقارنة و تحليل دقة نتائج المحاكاة. تظهر نتائج المحاكاة مخطط نقل الحرارة الذي يحدث في عبوات الزبادي. يتأثر الاختلاف في معدل نقل الحرارة بالخصائص الحرارية للعبوة, كلما انخفضت الموصلية الحرارية وزادت قيمة الكثافة فكانت العبوة أفضل لحفاظ درجة الحرارة الأولية للزبادي. شهدت العبوات الزجاجية أبطأ معدل لنقل الحرارة لمدة 90 دقيقة حتى انخفض اللبن الزبادي في درجة الحموضة في درجة الحرارة المحيطة.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Yoghurt adalah salah satu jenis susu dengan tipe proses fermentasi dan sudah dipraktekkan sejak ribuan tahun yang lalu. Komposisi kimia dari susu fermentasi memberikan indikasi yang berguna dengan nilai gizi yang baik. Komponen utama susu fermentasi ini adalah protein, lemak, karbohidrat, mineral dan vitamin. Yoghurt mengandung bakteri hidup sebagai probiotik, yaitu mikroba dari makanan yang menguntungkan bagi *microflora* di dalam saluran pencernaan. Sejauh ini jenis probiotik yang paling umum adalah bakteri asam laktat dari golongan *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus casei* (Wulandari dan Putranto, 2010).

Susu beserta olahan-olahan susu lainnya merupakan sumber gizi yang baik bagi kesehatan. Hal tersebut tertuang dalam Surah al-Mu'minun ayat 21 menjelaskan :

إِنْ أَحْسَنْتُمْ أَحْسَنْتُمْ لِأَنْفُسِكُمْ ۖ وَإِنْ أَسَأْتُمْ فَلَهَا ۚ وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۚ
نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ

“dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian daripadanya kamu makan“ (QS.Al-Mu'minun: 21).

Menurut Tafsir Ibnu Katsir ayat tersebut menjelaskan Allah Ta'ala menyebutkan bahwa apa yang telah diciptakan bagi makhluk-Nya pada binatang ternak terdapat berbagai manfaat, di mana mereka dapat meminum dari susu-susunya yang keluar dari saluran antara tempat kotoran dan saluran darah. Ayat

tersebut menjelaskan bahwa susu beserta olahannya memiliki manfaat yang banyak bagi manusia dalam kehidupannya. Untuk memperpanjang daya guna, daya tahan simpan, serta untuk meningkatkan nilai ekonomi susu, maka diperlukan teknik pengolahan. Salah satu pengolahan susu yang sangat prospektif adalah teknologi fermentasi susu untuk menghasilkan produk yoghurt.

Mulai meningkatnya gaya hidup sehat di Indonesia dengan mengonsumsi yoghurt juga membuat Indonesia memiliki beberapa merek yoghurt lokal buatan Indonesia yang telah ada di pasaran, seperti Cimory, Heavenly Blush, Yummy, Biokul dan lainnya. Departemen Perindustrian tahun 2009 menguatkan bahwa besarnya minat masyarakat Indonesia terhadap yoghurt salah satunya dapat dilihat melalui data impor yoghurt yang mengalami kecenderungan meningkat sejak tahun 2004, lalu tahun 2008 dicatat bahwa jumlah impor yoghurt nasional sebanyak 734.985 kg. (Everlin dan Yosephine, 2018)

Pemasaran yoghurt di tengah masyarakat umumnya dilakukan dengan menyimpan produk di dalam lemari pendingin bersuhu 5°C. Menurut Jawetz (1980), bahwa penyimpanan pada suhu rendah merupakan salah satu cara pengendalian dari pembiakan mikroorganisme. Yoghurt harus dijaga suhunya tetap dibawah 10°C sampai produk terdistribusikan terhadap konsumen. Dalam pemasarannya, industri rumah tangga mempunyai cara yang berbeda dimana produk yoghurt dipasarkan secara keliling dengan menggunakan *coolbox* (suhu 15-20°C). Hal itu menyebabkan terjadinya fluktuasi suhu yang berpengaruh terhadap kualitas yoghurt.

Jika dilakukan eksperimen untuk mengetahui estimasi waktu dan kemasan yang sesuai dengan proses distribusi dan suhu maksimal dari Yoghurt maka

dibutuhkan banyak biaya dan waktu untuk menyesuaikan suhu lingkungan pada saat proses distribusi dengan cuaca yang tidak menentu. Maka dari itu para peneliti mencoba metode lain yaitu metode komputasi menggunakan persamaan differensial

Cevoli dan Fabbri (2017) telah mengkaji tentang perpindahan panas menggunakan *Finite Element Model* (FEM) pada kemasan salad buah segar dalam keadaan tidak didinginkan. Dalam jurnal tersebut menggambarkan simulasi perpindahan panas pada kemasan untuk mengevaluasi kualitas kemasan yang baik untuk mempertahankan suhu dingin pada salad buah, namun akan kurang sesuai jika diaplikasikan di Indonesia dikarenakan suhu lingkungan yang berbeda. Irdiati (2013) dan Nurhikmat; dkk. (2014) meneliti tentang pemodelan perpindahan panas pada proses sterilisasi makanan kaleng menggunakan *Finite Difference Method* (FDM). Dalam penelitian tersebut suhu yang digunakan merupakan suhu tinggi diatas 100°C .

Berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui simulasi perpindahan panas pada yoghurt ketika proses distribusi dengan menvariasikan suhu lingkungan dan material kemasan yoghurt. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui persebaran panas pada yoghurt dengan teknik penyelesaian metode beda hingga atau *Finite Difference Method* (FDM) skema implisit pada diskritasi potongan kemasan dan yoghurt menggunakan aplikasi MATLAB R2013a. Pemrograman yang dilakukan menghasilkan skema perhitungan yang dapat ditampilkan dalam bentuk simulasi persebaran panas ketika proses distribusi yoghurt. Sehingga dapat diketahui estimasi waktu maksimal dari industri ke konsumen.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana persebaran suhu pada yoghurt dengan variasi material kemasan?
2. Bagaimana persebaran suhu pada yoghurt dengan variasi suhu lingkungan?
3. Berapa waktu yang dibutuhkan kemasan yoghurt untuk mencapai suhu batas maksimum?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui persebaran suhu pada yoghurt dengan variasi material kemasan.
2. Untuk mengetahui persebaran suhu pada yoghurt dengan variasi suhu lingkungan.
3. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan kemasan yoghurt untuk mencapai suhu batas maksimum.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan adalah yoghurt cimory rasa strawberry
2. Variasi kemasan yang digunakan meliputi kemasan *Polyethylene Terephthalate* (PET), kemasan botol kaca, dan kemasan *High density polyethylene* (HDPE)
3. Variasi suhu lingkungan yang digunakan adalah 27°C, 30°C dan 33°C.
4. Metode yang digunakan untuk simulasi persebaran panas pada kemasan dan yoghurt adalah metode beda hingga.
5. Aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan persebaran panas pada yoghurt adalah MATLAB 2013a
6. Arah sumber panas dari atas kemasan diabaikan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan nilai estimasi waktu yang tepat pada proses distribusi dari industri ke konsumen dengan variasi material kemasan dan suhu lingkungan dan memberi kontribusi yang baik dalam perkembangan ilmu pengetahuan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Yoghurt

Yoghurt merupakan produk susu fermentasi yang dibuat dari susu murni dan susu skim atau dengan penambahan konsentrat susu skim yang telah dipasteurisasi atau disterilisasi dan kemudian ditambahkan kultur mikroba *Strep. thermophilus* dan *Lac. bulgarius* yang bersimbiosis menghasilkan asam laktat dan karakteristik *flavor* yoghurt. Yoghurt dikonsumsi karena kesegaran, aroma dan teksturnya yang khas. Cita rasa yang khas pada yoghurt timbul karena adanya proses fermentasi (Yusmarini dan Effendi, 2004). Yoghurt juga merupakan produk yang lebih mudah dicerna dalam saluran pencernaan dibandingkan dengan susu murni atau *whole milk* (Prayitno, 2006).

Yogurt adalah minuman yang baik bagi kesehatan. Walaupun sejarahnya di Indonesia tidak begitu jelas, namun dari data Badan Pusat Statistik (BPS) mengungkapkan bahwa adanya peningkatan impor yogurt di Indonesia sejak tahun 2004 sampai dengan 2008 yang menandakan bahwa masyarakat Indonesia semakin sadar untuk meningkatkan gaya hidup sehat. Mulai meningkatnya gaya hidup sehat di Indonesia dengan mengonsumsi yogurt juga membuat Indonesia memiliki beberapa merek yogurt lokal buatan Indonesia yang telah ada di pasaran, seperti Cimory, Heavenly Blush, Yummy, Biokul dan lainnya. (Everlin dan Yosephine, 2018).

2.1.1 Distribusi Yoghurt

Yoghurt adalah produk yang diolah dari bahan dasar susu. Sifat susu yang mudah rusak perlu adanya penanganan khusus untuk menghindari cepatnya

penurunan kualitas. Susu segar dengan penanganan pasca panen yang tepat, namun sampai ke tangan konsumen terlalu lama dapat mengalami penurunan kualitas (Firsto dkk, 2017). Kualitas yoghurt dipengaruhi oleh banyak faktor yaitu, persiapan sampel susu, proses pengolahan, jenis kemasan, waktu penyimpanan, suhu lingkungan, kelembaban, tempat penyimpanan serta proses distribusinya (Saint-Eve dkk, 2008). Sehingga, perlu adanya sistem pengolahan dan pendistribusian yang cepat dan strategi pemasaran yang tepat.

Pemasaran yogurt di tengah masyarakat umumnya dilakukan dengan menyimpan produk di dalam lemari pendingin bersuhu 5°C. Menurut Jawetz (1980), bahwa penyimpanan pada suhu rendah merupakan salah satu cara pengendalian dari pembiakan mikroorganisme. Dalam pemasarannya industri rumah tangga mempunyai cara yang berbeda dimana produk yoghurt dipasarkan secara keliling dengan menggunakan *coolbox* (suhu 15-20°C). Hal itu menyebabkan terjadinya fluktuasi suhu yang berpengaruh terhadap viabilitas bakteri asam laktat (BAL) pada yoghurt.

Kualitas yoghurt dapat dibedakan mejadi kualitas kimia, fisika, organoleptik, maupun mikrobiologinya (Buckle *et al.*, 1987). Nilai pH yoghurt berdasarkan kriteria SNI berkisar antara 3,8 - 4,4. Kadar asam laktat merupakan salah satu parameter kualitas yoghurt secara kimia. Persen asam laktat dihitung sebagai total asam, karena dalam yoghurt asam organik yang paling banyak dihasilkan adalah asam laktat sekaligus yang menjadi produk utama (Putri, dkk. 2020)

2.1.2 Kemasan Yoghurt

Pengemasan dapat memperlambat kerusakan produk, memperpanjang umur simpan, dan menjaga atau meningkatkan kualitas dan keamanan pangan. Pengemasan juga dapat melindungi produk dari tiga pengaruh luar, yaitu kimia, biologis, dan fisik. Perlindungan kimia mengurangi perubahan komposisi yang cepat oleh pengaruh lingkungan, seperti terpapar gas (oksigen), uap air, dan cahaya (cahaya tampak, infra merah atau ultraviolet). Perlindungan biologis mampu menahan mikroorganisme (patogen dan agen pembusuk), serangga, hewan pengerat, dan hewan lainnya. Perlindungan fisik menjaga produk dari bahaya mekanik dan menghindari goncangan dan getaran selama pendistribusian (Marsh dan Bugusu, 2007).

Plastik merupakan bahan pengemas yang berkembang pesat pada saat ini. Plastik digunakan untuk mengemas berbagai macam jenis makanan. Jenis plastik bermacam-macam. Jenis plastik tersebut dapat dibedakan berdasarkan senyawa-senyawa penyusunnya. Plastik memiliki berbagai keunggulan yakni fleksibel (dapat mengikuti bentuk produk), transparan (tembus pandang), tidak mudah pecah, bentuk laminasi (dapat dikombinasikan dengan bahan kemasan lain), tidak korosif, dan harga relatif murah. (Latief, 2000).

Salah satu jenis plastik yang biasa digunakan sebagai kemasan minuman yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET). Kelebihannya terutama disebabkan oleh beberapa hal seperti daya tembus (permeabilitas) terhadap gas dan uap air yang sangat rendah, ringan (cocok untuk kapasitas yang besar) dan relatif murah jika dibanding dengan plastik yang didesain khusus karakteristiknya dari campuran beberapa resin. Jenis plastik yang sering digunakan dalam kemasan

bahan pangan dan mudah diperoleh adalah diantaranya polietilen dan polipropilen. Plastik ini termasuk plastik tipis yang bersifat lentur (*flexible films*) mempunyai beberapa sifat khusus antara lain daya serap air, daya tembus gas dan uap air serta ketahanan terhadap bahan kimia. Sifat terpenting bahan kemasan yang digunakan meliputi permeabilitas gas dan uap air, bentuk dan permukaannya. Permeabilitas uap air dan gas, serta luas permukaan kemasan mempengaruhi jumlah gas yang baik dan luas permukaan yang kecil menyebabkan masa simpan produk lebih lama (Sucipta dkk, 2004).

Jenis plastik yang digunakan dalam pengemasan salah satunya adalah Polyethylen (PE) yang terbuat dari ethylene polimer dan terdiri dari 3 macam yaitu Low Density PE, Medium Density PE dan High Density PE. LDPE : paling banyak digunakan sebagai kantung dan mudah dikelim dan sangat murah. MDPE : lebih kaku daripada LDPE dan memiliki suhu leleh lebih tinggi dari LDPE. HDPE : paling kaku diantara ketiganya, tahan terhadap suhu tinggi (120°C) Sehingga dapat digunakan untuk kemasan produk yang harus mengalami sterilasi (Sucipta dkk, 2004).

Selain plastik, kemasan gelas merupakan kemasan pangan yang sering digunakan di rumah tangga, karena kemasan gelas mempunyai keunggulan antara lain: inert yaitu tidak bereaksi dengan bahan yang dikemas, tahan asam dan basa, dan tahan lingkungan, gelas dapat tembus pandang/transparan atau gelap dan selama pemakaian bentuknya tetap, tidak berpengaruh terhadap bahan yang dikemas (tidak ada migrasi) dan kemasan gelas merupakan penghalang (barrier) yang baik terhadap uap air, air dan gas-gas lain.

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi dari daerah satu ke daerah lainnya akibat adanya perbedaan suhu baik dalam satu medium maupun antar medium. Pemanasan makanan dapat menjadikan makanan lebih awet dan tahan lama. Pemanasan atau pemasakan makanan hakikatnya adalah memanfaatkan api ciptaan Allah sebagaimana firman-Nya dalam Surah al-Waqi‘ah ayat 71–73.

أَفَرَأَيْتُمُ النَّارَ الَّتِي تُورُونَ ۖ أَأَنْتُمْ أَنْشَأْتُمْ شَجَرَتَهَا أَمْ نَحْنُ الْمُنْشِئُونَ ۚ نَحْنُ جَعَلْنَاهَا تَذْكِرَةً وَمَتَاعًا لِلْمُقْوِينَ ۚ

“Maka pernahkah kamu memperhatikan tentang api yang kamu nyalakan (dengan kayu)? Kamukah yang menumbuhkan kayu itu ataukah Kami yang menumbuhkan? Kami menjadikannya (api itu) untuk peringatan dan bahan yang berguna bagi musafir.” (QS. al-Wāqi‘ah:71–73)

Meski demikian, pemanasan yang berlebih dapat merusak atau menurunkan nilai gizi. Hal ini dapat dimengerti karena hakikatnya komponen-komponen gizi seperti karbohidrat, lemak, protein, dan vitamin adalah zat-zat kimia yang akan mengalami degradasi atau penguraian dan kerusakan akibat pemanasan. Dalam bidang industri sering dijumpai hal-hal yang berhubungan dengan perpindahan panas. Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan proses perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Hal ini mengindikasikan bahwa perpindahan panas tidak hanya menjelaskan perpindahan energi panas dari suatu benda ke benda lainnya, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Holman, 1994). Perpindahan panas terjadi dengan tiga cara, yaitu : konduksi (hantaran), konveksi (aliran) dan radiasi (pancaran).

2.2.1 Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi dimana panas mengalir dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah pada medium tetap. Persamaan umum dari laju perpindahan panas secara konduksi menurut Hukum Fourier dinyatakan (Incropera, 1990):

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

dimana:

Q = laju perpindahan panas konduksi (W/m^2)

A = luas penampang (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = gradien suhu ($^{\circ}C/m$)

K = konduktivitas panas (W/mK)

2.2.2 Konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi antara permukaan benda padat dan fluida (cair atau gas) yang bergerak disekelilingnya, yang merupakan gabungan antara pergerakan makroskopik dan molekular fluida. Persamaan umum dari laju perpindahan panas secara konveksi yang dikenal dengan Hukum Newton untuk pendinginan dinyatakan (Incropera, 1990):

$$Q = hA (T_{\infty} - T) \quad (2.2)$$

dimana:

Q = laju perpindahan panas konveksi (W/m^2)

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m^2K)

A = luas penampang (m^2)

T_{∞} = suhu fluida sekitar ($^{\circ}C$)

T = suhu permukaan bahan ($^{\circ}C$)

2.2.3 Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan panas dari benda bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah, bila benda-benda itu terpisah didalam ruang (bahkan dalam ruang hampa sekalipun). Dinyatakan dengan:

$$Q = \delta A (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.3)$$

dimana:

Q = laju perpindahan panas radiasi (W/m^2)

δ = Konstanta Stefan-Boltzman $5,669 \times 10^{-8} W/m^2k^4$

A = Luas penampang (m)

T = Temperatur ($^{\circ}C$)

2.3 Perpindahan Panas pada Silinder

Persamaan konduksi panas satu dimensi secara umum diformulasikan sebagai berikut:

$$\frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^n K \frac{\partial T}{\partial r} \right) + g = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.4)$$

dimana untuk $n = 0$ jika dinding datar, $n = 1$ jika silinder, dan $n = 2$ jika bola (Cengel, 2002). Pada penelitian ini, kemasan yang digunakan dianggap sebagai sebuah silinder pejal tanpa ada pembangkitan panas ($g = 0$), sehingga persamaan (2.3) menjadi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(K r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = C \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.5)$$

dengan r adalah jari-jari kaleng, K adalah konduktivitas termal, C adalah kalor jenis bahan, dan ρ adalah massa jenis bahan.

2.4 Persamaan Differensial Parsial (PDP)

Persamaan Diferensial Parsial (PDP) adalah suatu persamaan yang memuat satu atau lebih turunan-turunan parsial. PDP dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu persamaan diferensial eliptik, parabolik dan hiperbolik.

2.4.1 PDP Eliptik

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, y) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}(x, y) = f(x, y) \quad (2.8)$$

Di bidang fisika, persamaan (2.8) dikenal sebagai Persamaan Poisson. Jika $f(x, y) = 0$, maka diperoleh persamaan yang lebih sederhana

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, y) + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}(x, y) = 0 \quad (2.9)$$

yang biasa disebut sebagai Persamaan Laplace. PDP eliptik biasanya berhubungan dengan masalah keseimbangan atau kondisi permanen (tidak tergantung waktu), dan penyelesaiannya memerlukan kondisi batas di sekeliling daerah tinjauan. Aplikasi PDP eliptik di bidang fisika adalah distribusi panas pada kondisi *steady-state* pada obyek 2-dimensi dan 3-dimensi.

2.4.2 PDP Parabolik

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x, t) - \alpha^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, t) = 0 \quad (2.10)$$

Persamaan parabolik biasanya berupa persamaan yang tergantung pada waktu (tidak permanen). Fenomena fisis yang bisa dijelaskan oleh persamaan ini adalah masalah aliran panas pada suatu obyek dalam fungsi waktu t .

2.4.3 PDP Hiperbolik

$$\alpha^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}(x, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(x, t) \quad (2.11)$$

Persamaan parabolik biasanya berhubungan dengan getaran, atau permasalahan dimana terjadi *discontinue* dalam waktu. Persamaan gelombang merupakan salah satu bentuk persamaan hiperbola yang paling sederhana (Suparno, 2010).

Persamaan Laplace adalah sebuah Persamaan Diferensial Parsial (PDP) dengan bentuk persamaannya adalah:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.12)$$

atau

$$\Delta^2 T = 0 \quad (2.13)$$

Untuk tiga dimensi, dan kita dapatkan pula persamaan Laplace dua dimensi

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (2.14)$$

Dengan pemisahan variabel diperoleh penyelesaian umum dari persamaan Laplace dua dimensi diatas adalah :

$$T(x,y) = (A \cos kx + B \sin kx)(C e^{ky} + D e^{-ky}) \quad (2.15)$$

Pemakaian persamaan Laplace dalam masalah fisika misalnya pada distribusi suhu dan distribusi potensial. Untuk menganalisis distribusi suhu pada pelat dua dimensi yang sesuai dengan persamaan Laplace secara numerik diperlukan beberapa teknik komputasi, salah satu diantaranya adalah metode beda hingga atau *Finite Difference Method* (FDM). Analisis numerik ini diperlukan untuk membuat media pembelajaran fisika yang berkaitan dengan distribusi suhu atau distribusi potensial secara visual. (Boas, 1983)

2.5 Metode Beda Hingga

Persamaan yang paling umum untuk metode alternatif adalah pendekatan beda hingga atau *Finite Difference Approach* (FDA). Dalam teknik ini, turunan

Metode beda hingga diubah dari persamaan asli. Dengan demikian, persamaan diferensial linier ditransformasikan menjadi seperangkat persamaan aljabar simultan yang dapat diselesaikan dengan metode yang sederhana (Chapra, 1990)

Sebagai konsekuensi metode beda hingga dari analisis adalah untuk membantu mengembangkan pemecahan pada persamaan-persamaan differensial parsial ini. Metode beda hingga digunakan untuk memecahkan suatu masalah yang rumit dalam membagi masalah ke dalam permasalahan yang lebih kecil dan memecahkannya secara terpisah. Metode ini meneliti penyusunan model dari kecil dalam keadaan daerah terhubung pada daerah atau koordinat dari elemen-elemen, gagasan untuk metode beda hingga adalah suatu “daerah penyelesaian” yaitu, model dapat meneliti atau didekati dengan menggantikan daerah atau koordinat dengan jumlah elemen terbatas elemen yang terpisah, elemen-elemen ini kemudian bisa dijadikan tempat penyelesaian yang berbeda untuk menyusun permasalahan yang kompleks (Fagan, 1992).

Untuk dapat menggunakan metode beda hingga dibutuhkan Deret Taylor. Deret Taylor fungsi satu variabel disekitar x diberikan sebagai:

$$f(x+h) = f(x) + f'(x)h + \frac{f''(x)}{2!}h^2 + \dots \quad (2.16)$$

atau

$$f(x-h) = f(x) - f'(x)h + \frac{f''(x)}{2!}h^2 - \dots \quad (2.17)$$

Deret Taylor inilah yang merupakan dasar pemikiran metode beda hingga untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial secara numerik. Dari deret Taylor ini dikenal tiga pendekatan metode beda hingga yaitu:

Pendekatan beda maju (*forward difference*):

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (2.18)$$

Pendekatan beda mundur (*backward difference*):

$$f'(x) \approx \frac{f(x) - f(x-h)}{h} \quad (2.19)$$

Pendekatan beda pusat (*center difference*):

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \quad (2.20)$$

Untuk turunan kedua ditinjau deret Taylor hingga nilai h yang berderajat dua.

Pemotongan dilakukan pada h yang berderajat tiga (James, 1993).

2.6 Skema Metode Beda Hingga

Untuk mempelajari skema metode beda hingga, misal diberikan persamaan parabola yaitu persamaan perambatan panas satu dimensi, sebagai berikut:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad (2.21)$$

dengan syarat awal:

$$T(x, t) = a_0(x), \quad 0 < x < L,$$

dan syarat batas:

$$T(0, t) = b_0(t), \quad t < 0,$$

$$T(L, t) = b_L(t), \quad t < 0$$

(Yang, 2005).

Untuk menyelesaikan sistem persamaan diatas dengan skema metode beda hingga akan dihitung nilai pendekatan T (temperatur) pada jaringan titik (x_i, t_k) dengan domain komputasi didiskritkan baik pada arah x maupun arah t sebagai berikut:

$$t_k = k \Delta t, \quad t \geq 0$$

$$x_i = i \Delta x, \quad 0 \leq i \leq n$$

dimana n adalah banyaknya *grid*.

2.6.1 Skema Eksplisit

Pada skema Eksplisit, variabel pada waktu $l + 1$ dihitung berdasarkan variabel pada waktu l yang sudah diketahui. Dengan menggunakan skema differensial maju untuk turunan pertama terhadap t , serta differensial terpusat untuk turunan pertama terhadap x , fungsi variabel (temperatur) $T(x,t)$ didekati oleh bentuk berikut:

$$T(x,t) = T_i^l \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} \quad (2.22)$$

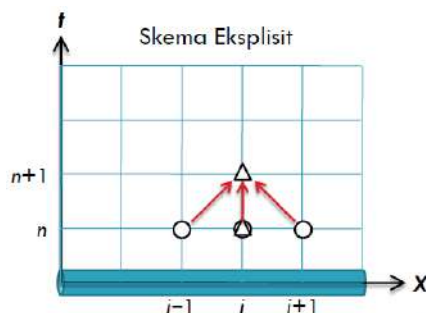
$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2} \quad (2.23)$$

Dengan menggunakan skema diatas, dengan anggapan bahwa K konstan, maka persamaan (2.10) menjadi sebagai berikut:

$$\frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} = \frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2} \quad (2.24)$$

atau:

$$T_i^{l+1} = T_i^l + K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l)$$

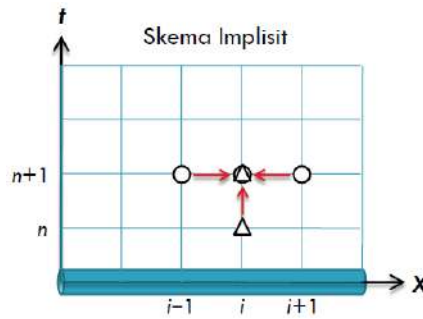


Gambar 2.1 Skema Eksplisit Pada Persamaan Perambatan Panas

Dari gambar (2.2), jarak antara titik hitungan (panjang *grid*) adalah $\Delta x = \frac{L}{n}$, dengan n adalah jumlah *grid*, sedang interval waktu hitungan adalah Δt . Nilai T_i^{l+1} dapat diperoleh secara eksplisit dari sebelumnya, yaitu T_{i-1}^l , $2T_i^l$, T_{i+1}^l . Dengan nilai l yang sudah diketahui, memungkinkan untuk menghitung T_i^{l+1} ($i = 1, 2, \dots, n-1$).

2.6.2 Skema Implisit

Pada skema Eksplisit, ruas kanan ditulis pada waktu l yang sudah diketahui nilainya, akan tetapi pada skema Implisit ruas kanan ditulis pada waktu $l+1$ yang tidak diketahui nilainya (Triatmodjo, 2002).



Gambar 2.2 Skema Implisit Pada Persamaan Perambatan Panas

Dari Gambar (2.3), fungsi $T(x, t)$ dan turunannya didekati oleh bentuk berikut:

$T(x, t)$ dan turunannya didekati oleh bentuk berikut:

$$T(x, t) \approx T_i^l$$

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \approx \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} \approx \frac{T_{i+1}^{l+1} - 2T_i^{l+1} + T_{i-1}^{l+1}}{\Delta x^2} \quad (2.25)$$

Sehingga persamaan (2.25) dapat ditulis dalam bentuk beda hingga menjadi:

$$\frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} \approx \left(\frac{T_{i+1}^{l+1} - 2T_i^{l+1} + T_{i-1}^{l+1}}{\Delta x^2} \right)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\Delta t} T_i^{l+1} - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i-1}^{l+1} + \frac{2K}{\Delta x^2} T_i^{l+1} - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i+1}^{l+1} \approx \frac{1}{\Delta t} T_i^l \\
& - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i-1}^{l+1} + \left(\frac{1}{\Delta t} + \frac{2K}{\Delta x^2} \right) T_i^{l+1} - \frac{K}{\Delta x^2} T_{i+1}^{l+1} \approx \frac{1}{\Delta t} T_i^l \\
& - v K T_{i-1}^{l+1} + (1 + 2vK) T_i^{l+1} - v K T_{i+1}^{l+1} \approx T_i^l
\end{aligned}$$

$$\text{Dimana } v = \frac{\Delta t}{\Delta x^2}$$

Dengan memberikan nilai $i = 1, 2, \dots, (n - 1)$, kita peroleh persamaan linier $n - 1$ yang dapat diselesaikan dengan metode matrik. Penyelesaian dengan menggunakan skema implisit lebih sulit dibandingkan dengan skema eksplisit. Kelebihan dari skema implisit adalah stabil tanpa syarat, langkah waktu Δt dapat diambil sembarang (besar) tanpa menimbulkan ketidakstabilan. Pembatasan Δt hanya untuk menjaga kesalahan pemotongan (*truncation error*) dalam batas-batas yang dapat diterima.

2.6.3 Skema Crank Nicolson

Skema Crank-Nicholson merupakan pengembangan dari skema eksplisit dan skema implisit. Pada skema eksplisit, pendekatan solusi $c(x_i, t_{l+1})$ dihitung menggunakan jaringan titik (x_i, t_l) . Sedangkan pada skema implisit pendekatan solusi $c(x_i, t_l)$ dihitung menggunakan jaringan titik (x_i, t_{l+1}) , pada skema Crank-Nicholson pendekatan solusi $c(x_i, t_{l+1})$ akan dihitung menggunakan jaringan titik (x_i, t_l) dan jaringan titik (x_i, t_{l+1}) yang artinya, diferensial terhadap waktu ditulis pada $l + 1/2$. Sehingga skema diferensial persamaan (2.22) terhadap waktu adalah:

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \approx \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t}.$$

Skema Crank-Nicholson menulis ruas kanan dari persamaan (2.22) pada waktu $l + 1/2$, yang artinya merupakan nilai rerata dari skema Eksplisit dan

Implisit. Berdasarkan pada skema Eksplisit pada persamaan perambatan panas diatas, skema diferensial kedua terhadap x yang digunakan adalah persamaan (2.23), sedangkan untuk skema Implisit yang digunakan adalah persamaan (2.24). Sehingga skema Crank-Nicholson untuk diferensial kedua terhadap x adalah:

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^{l+1} - 2T_i^{l+1} + T_{i-1}^{l+1}}{\Delta x^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2} \right)$$

Dengan menggunakan skema Crank-Nicholson, persamaan (2.21) dapat ditulis sebagai berikut (Hidayat & Pradjaningsih, 2002):

$$\frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} \approx K \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^{l+1} - 2T_i^{l+1} + T_{i-1}^{l+1}}{\Delta x^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2} \right) \right\}$$

atau:

$$\frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} \approx \frac{1}{2} K \left\{ \left(\frac{T_{i+1}^{l+1} - 2T_i^{l+1} + T_{i-1}^{l+1}}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{T_{i+1}^l - 2T_i^l + T_{i-1}^l}{\Delta x^2} \right) \right\}$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk dapat mengetahui estimasi waktu maksimum yang dibutuhkan yoghurt untuk mencapai suhu maksimum beserta simulasinya. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan adalah yoghurt dengan variasi kemasan dan suhu lingkungan serta disimulasika menggunakan *software* MATLAB.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2020. Tempat penelitian di Laboratorium Biofisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.

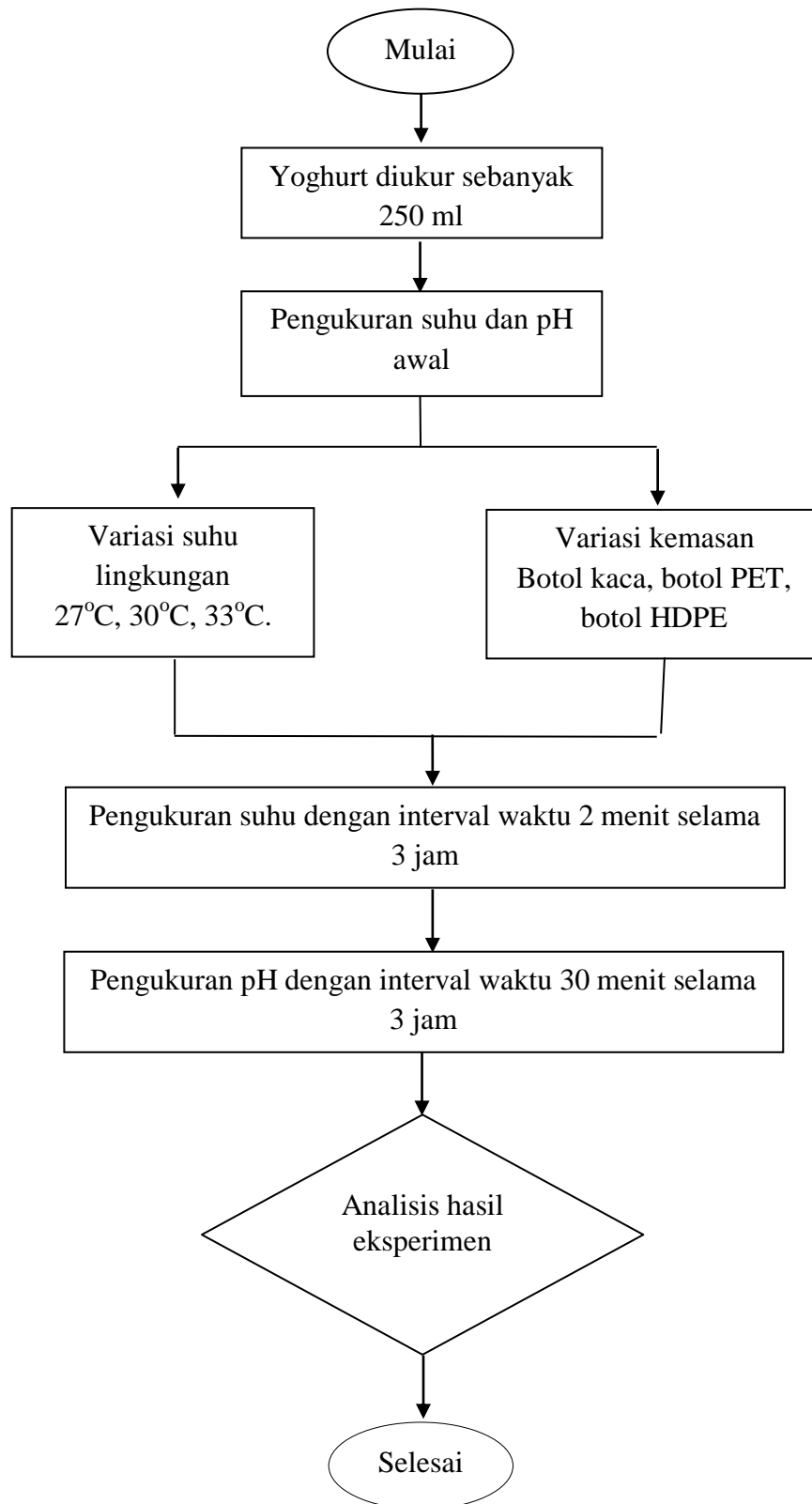
3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

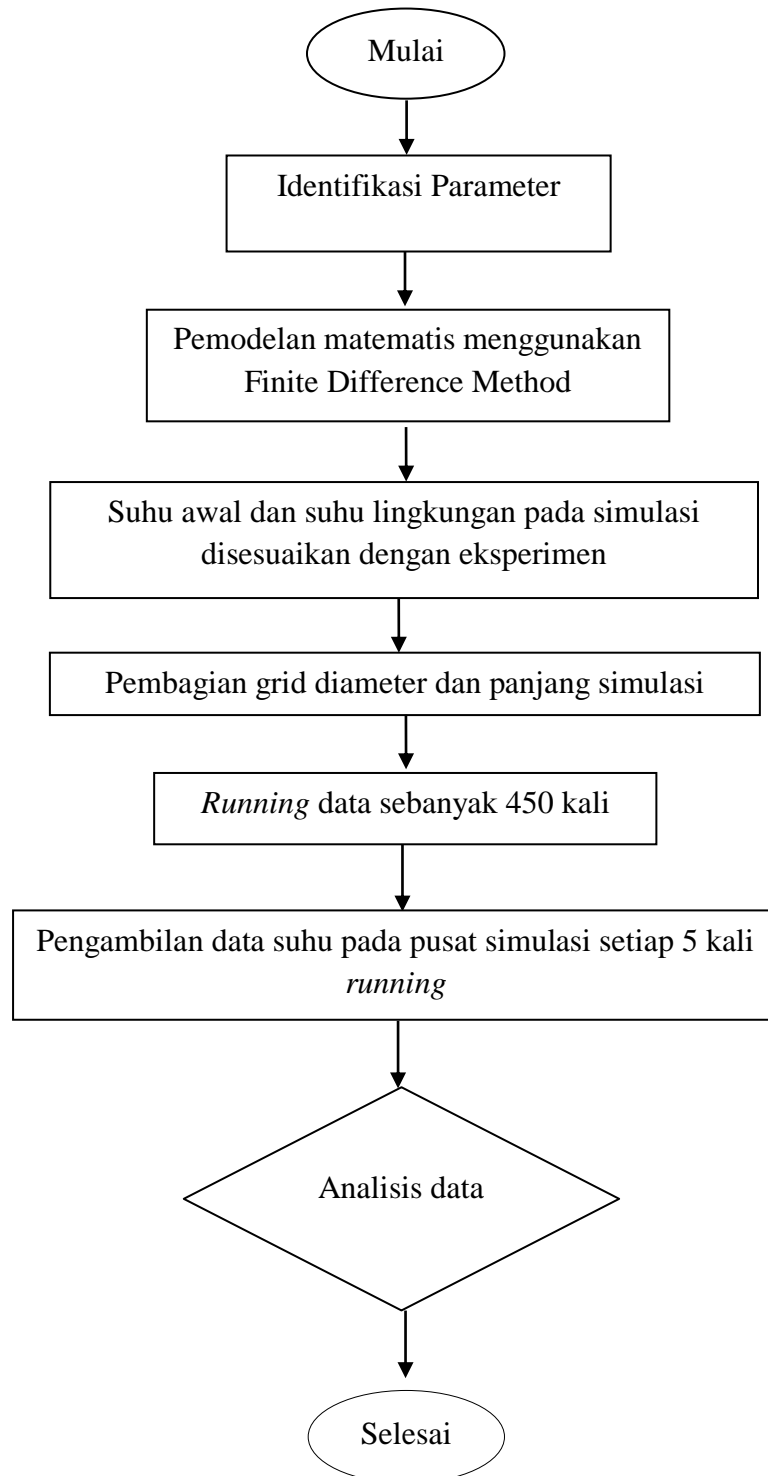
1	Yoghurt	27 liter
2	Inkubator	1 buah
3	Termometer digital	3 buah
4	Botol kaca 250 ml	20 buah
5	Botol plastik PET 250 ml	20 buah
6	Botol plastik HDPE 250 ml	20 buah
7	Jangka sorong	1 buah
8	<i>Coolbox</i>	1 buah
9	Laptop	1 buah
10	Software MATLAB R2013a	1 buah

3.4 Diagram Alir

3.4.1 Diagram Alir Eksperimen



3.4.2 Diagram Alir Simulasi



3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Proses Eksperimen

Langkah-langkah dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu yoghurt. Agar suhu yoghurt tetap terjaga maka yoghurt tersebut dimasukkan ke dalam *coolbox* dan dibawa ke laboratorium Biofisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

2. Variasi material kemasan

Sampel diukur sebanyak 250 ml dan diuji dengan menvariasikan material kemasan antara lain dengan botol kaca, botol plastik PET, dan botol plastik HDPE.

3. Variasi suhu lingkungan

Selain dengan menvariasikan material kemasan, sampel juga diuji dengan menvariasikan suhu lingkungan yaitu 27⁰C, 30⁰C, dan 33⁰C

4. Pengukuran

Pengukuran suhu yoghurt dalam inkubator dilakukan setiap 2 menit sekali menggunakan thermometer digital. Pengukuran dilakukan selama 3 jam. Selain pengukuran suhu, juga dilakukan pengukuran pH yoghurt setiap 30 menit sekali selama 3 jam. Sehingga diperoleh data hasil eksperimen yang disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 3.1 Pengukuran Suhu Yoghurt Variasi Suhu Lingkungan 27⁰C

Material Kemasan	Waktu (menit)	Suhu yoghurt (⁰ C)
Botol kaca		

Botol PET		
Botol HDPE		

Tabel 3.2 Pengukuran Suhu Yoghurt Variasi Suhu Lingkungan 30⁰C

Material Kemasan	Waktu (menit)	Suhu yoghurt (⁰ C)
Botol kaca		
Botol PET		
Botol HDPE		

Tabel 3.3 Pengukuran Suhu Yoghurt Variasi Suhu Lingkungan 33⁰C

Material Kemasan	Waktu (menit)	Suhu yoghurt (⁰ C)
Botol kaca		
Botol PET		

Botol HDPE		

Tabel 3.4 Pengukuran pH Yoghurt

Kemasan	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH
PET	27		
	30		
	33		
HDPE	27		
	30		
	33		
Kaca	27		
	30		
	33		

3.5.2 Proses Simulasi

1. Identifikasi Parameter

Beberapa parameter yang diperlukan untuk mengetahui simulasi perpindahan panas pada distribusi yoghurt yaitu konduktivitas termal (K), Kalor jenis (C), jari-jari (r), jumlah grid (n), temperatur lingkungan ($T_{\text{lingkungan}}$), dan temperatur maksimal (T_{ambient}).

2. Analisa Matematis

Analisa persamaan perpindahan panas konduksi menggunakan metode beda hingga.

3. Pemrograman

Nilai termal dan ukuran dari material yang digunakan dimasukkan ke dalam program. Suhu awal yoghurt dan suhu lingkungan disesuaikan dengan eksperimen yang telah dilakukan. Ukuran dari kemasan dan yoghurt dibagi menjadi beberapa grid untuk menjadi matriks.

4. Visualisasi

Running data yang telah dimasukkan ke dalam program hingga mencapai $t = 10800$ detik. Untuk mempersingkat waktu, maka t dibagi menjadi $dt = 24$. Sehingga proses *running* cukup dilakukan sampai 450 kali.

3.5.3 Analisis Data

Hasil pengukuran suhu yoghurt pada eksperimen dengan bervariasi material kemasan dan suhu lingkungan dengan hasil simulasi MATLAB di analisis sehingga didapatkan perkiraan waktu maksimum untuk distribusi yoghurt dan material kemasan yang tepat untuk yoghurt ketika didistribusikan. Analisis nilai *error* dilakukan dengan menggunakan RMSE dan MAPE. Sehingga dapat diketahui keakuratan dari hasil simulasi MATLAB. Hasil pengukuran pH dijadikan acuan waktu yang diperlukan yoghurt hingga mengalami penurunan kualitas.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Matematis

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran suhu pada yoghurt serta pengaruh lama penyimpanan yoghurt ketika divariasikan material kemasan dan suhu lingkungannya. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan simulasi. Pada eksperimen dilakukan pengukuran suhu yoghurt dengan interval 2 menit dan pengukuran pH yoghurt dengan interval 30 menit pada masing-masing variasi suhu dan material kemasan dalam waktu 3 jam. Simulasi persebaran panas dilakukan untuk mengetahui persebaran panas di dalam kemasan selama proses distribusi. Sedangkan untuk mengetahui simulasi persebaran suhu di dalam kemasan yang berbentuk silinder perlu diketahui beberapa koordinat silinder yang akan digunakan dan beberapa sifat termal material yang digunakan.

Proses pemodelan persamaan panas tiga dimensi disini dimulai dari sistem koordinat kartesius kemudian ditransformasikan kedalam sistem koordinat silinder. Karena volume dari elemen tiga dimensi adalah $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$, maka massanya adalah $\Delta m = \rho \Delta V = \rho \Delta x \Delta y \Delta z$. Jumlah panas pada elemen ini saat waktu t adalah :

$$Q(x, y, z, t, \Delta x, \Delta y, \Delta z) = c \Delta m T(x, y, z, t) = c \rho \Delta x \Delta y \Delta z T(x, y, z, t) \quad (4.1)$$

Rata-rata perubahan jumlah panas pada elemen ini diberikan oleh :

$$\frac{dQ}{dt} = c \rho \Delta x \Delta y \Delta z \frac{dT}{dt}(x, y, z, t) \quad (4.2)$$

Sesuai dengan prinsip kekekalan energi, yaitu rata-rata perubahan panas harus sama dengan aliran panas yang masuk dikurangi aliran panas yang keluar, maka didapat :

$$\frac{dQ}{dt} = q_x + q_y + q_z - q_{x+\Delta x} - q_{y+\Delta y} - q_{z+\Delta z} \quad (4.3)$$

Banyaknya energi tiap elemen ditunjukkan sebagai berikut:

$$q_x = -k\Delta y\Delta z \frac{dT}{dx} \quad (4.4)$$

$$q_{x+\Delta x} = -\left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) \Delta x\right] \Delta y \Delta z \quad (4.5)$$

$$q_y = -k\Delta x\Delta z \frac{dT}{dy} \quad (4.6)$$

$$q_{y+\Delta y} = -\left[k \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y}\right) \Delta y\right] \Delta x \Delta z \quad (4.7)$$

$$q_z = -k\Delta x\Delta y \frac{dT}{dz} \quad (4.8)$$

$$q_{z+\Delta z} = -\left[k \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) \Delta z\right] \Delta x \Delta y \quad (4.9)$$

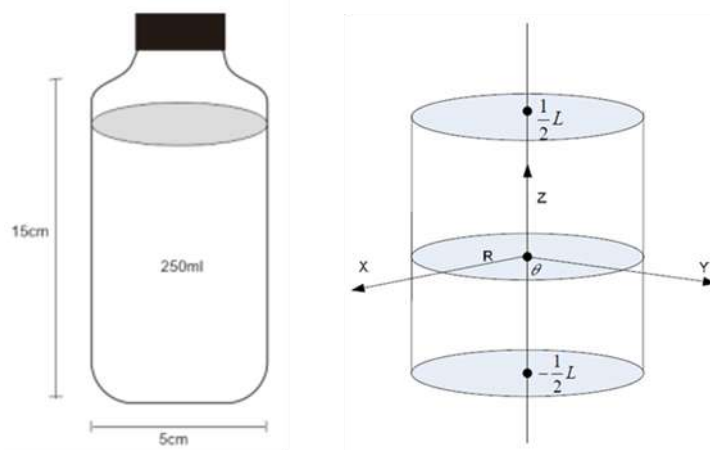
Persamaan (4.2) dan (4.4) sampai dengan persamaan (4.9) disubstitusikan ke persamaan (4.3) kemudian persamaan tersebut dibagi dengan $\Delta x\Delta y\Delta z$ didapat:

$$C\rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (4.10)$$

Karena konduktifitasnya termalnya tetap, maka persamaan (4.10) dapat ditulis

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T \quad (4.11)$$

Dengan $\frac{1}{\alpha} = \frac{C\rho}{k}$ adalah konstanta penghamburan panas dan $\nabla^2 T$ adalah operator laplace dan persamaan (4.11) inilah yang disebut sebagai persamaan panas pada benda dimensi tiga dalam koordinat kartesius



Gambar 4.1 Desain Botol dan Koordinat Silinder Botol.

Selanjutnya jika $T = T(x,y,z,t)$ ditransformasikan dalam koordinat silinder $T=T(r,\theta,z,t)$ seperti terlihat pada gambar dengan transformasi sebagai berikut $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$ dan $Z = z$, maka didapat turunan parsial pertama

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} = \cos \theta \frac{\partial T}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \theta} = -r \sin \theta \frac{\partial T}{\partial x} + r \cos \theta \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.13)$$

atau dapat ditulis sebagai berikut

$$T_r = \cos \theta T_x + \sin \theta T_y \quad (4.14)$$

$$T_\theta = -r \sin \theta T_x + r \cos \theta T_y \quad (4.15)$$

dan dalam bentuk matriknya dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -r \sin \theta & r \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_r \\ T_\theta \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} r \cos \theta & -\sin \theta \\ r \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_r \\ T_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta T_r & -\frac{\sin \theta}{r} T_\theta \\ \sin \theta T_r & \frac{\cos \theta}{r} T_\theta \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

selanjutnya turunan parsial keduanya diperoleh

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\partial}{\partial r} \left(\cos \theta \frac{\partial T}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial T}{\partial y} \right) \\ &= \cos \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \\ &= \cos \theta \left(\frac{\partial T_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \right) + \sin \theta \left(\frac{\partial T_y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T_y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \right) \\ &= \cos \theta (T_{xx} \cos \theta + T_{xy} \sin \theta) + \sin \theta (T_{yx} \cos \theta + T_{yy} \sin \theta) \\ &= \cos^2 \theta T_{xx} + \sin \theta \cos \theta T_{xy} + \sin \theta \cos \theta T_{yx} + \sin^2 \theta T_{yy} \\ &= \cos^2 \theta T_{xx} + 2 \sin \theta \cos \theta T_{xy} + \sin^2 \theta T_{yy} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial T}{\partial \theta} \right) \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\partial}{\partial \theta} \left(-r \sin \theta \frac{\partial T}{\partial x} + r \cos \theta \frac{\partial T}{\partial y} \right) \\ &= r \left\{ -\cos \theta T_x - \sin \theta \frac{\partial}{\partial x} (T_x) - \sin \theta T_y + \cos \theta \frac{\partial}{\partial y} (T_y) \right\} \\ &= r \left\{ -\cos \theta T_x - \sin \theta \left(\frac{\partial T_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \frac{\partial T_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \theta} \right) - \sin \theta T_y + \right. \\ &\quad \left. \cos \theta \left(\frac{\partial T_y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \frac{\partial T_y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \theta} \right) \right\} \\ &= r \left[-\cos \theta T_x - \sin \theta T_y + r \sin^2 \theta T_{xx} - r \sin \theta \cos \theta T_{xy} - \right. \\ &\quad \left. r \sin \theta \cos \theta T_{yx} + r \cos^2 \theta T_{yy} \right] \\ &= r \left[-\cos \theta T_x - \sin \theta T_y + r \sin^2 \theta T_{xx} - 2r \sin \theta \cos \theta T_{xy} + \right. \\ &\quad \left. r \cos^2 \theta T_{yy} \right] \\ &= r \left[-\cos \theta T_x - \sin \theta T_y \right] + \\ &\quad r^2 \left[r \sin^2 \theta T_{xx} - 2r \sin \theta \cos \theta T_{xy} + r \cos^2 \theta T_{yy} \right] \\ &= r \left[-\cos \theta \left(\cos \theta T_r - \frac{\sin \theta}{r} T_\theta \right) - \sin \theta \left(\sin \theta T_r - \frac{\cos \theta}{r} T_\theta \right) + \right. \end{aligned}$$

$$r^2 \sin^2 \theta T_{xx} + (\cos^2 \theta T_{xx} + \sin^2 \theta T_{yy} - T_{rr}) \cos^2 \theta T_{yy}]$$

$$= r (-\cos^2 \theta T_r - \sin^2 \theta T_r) + r^2 (T_{xx} + T_{yy} - T_{rr})$$

Atau bisa ditulis sebagai berikut:

$$T_{\theta\theta} = -r T_r + r^2 (T_{xx} + T_{yy}) - r^2 T_{rr}$$

$$r^2 (T_{xx} + T_{yy}) = T_{\theta\theta} + r T_r + r^2 T_{rr}$$

$$T_{xx} + T_{yy} = \frac{1}{r} T_r + T_{rr} + \frac{1}{r^2} T_{\theta\theta} \quad (4.20)$$

Kemudian persamaan (4.11) disubstitusikan ke persamaan

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4.21)$$

Persamaan (4.21) inilah yang disebut sebagai persamaan panas pada benda dimensi tiga dalam koordinat tabung. Kemudian karena botol yang disimulasikan berbentuk tabung yang bersifat simetri sehingga perambatan panas tidak bergantung pada sudut θ , maka $\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$ $\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0$, sehingga didapatkan:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4.22)$$

Persamaan Benda Hingga digunakan untuk pendekatan turunan parsial dari $T(r,z,t)$ dengan

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{T(r_i + \Delta r, z_j, t_k) - T(r_i - \Delta r, z_j, t_k)}{2\Delta r} \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{T(r_i + \Delta r, z_j, t_k) - 2T(r_i, z_j, t_k) + T(r_i - \Delta r, z_j, t_k)}{\Delta^2 r}$$

$$(4.24)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{T(r_i, z_j + \Delta z, t_k) - 2T(r_i, z_j, t_k) + T(r_i, z_j - \Delta z, t_k)}{\Delta^2 z} \quad (4.25)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T(r_i, z_j, t_{k+\Delta t}) - T(r_i, z_j, t_k)}{2\Delta t} \quad (4.26)$$

Apabila $T(r_i, z_j, t_k) = T_{i,j,k}$ maka persamaan diatas akan menjadi:

$$T(r_i + \Delta r, z_j, t_k) = T_{i+1,j,k} \quad (4.27)$$

$$T(r_i - \Delta r, z_j, t_k) = T_{i-1,j,k} \quad (4.28)$$

$$T(r_i, z_j, t_{k+\Delta t}) = T_{i,j,k+1} \quad (4.29)$$

$$T(r_i, z_j + \Delta z, t_k) = T_{i,j+1,k} \quad (4.30)$$

$$T(r_i, z_j - \Delta z, t_k) = T_{i,j-1,k} \quad (4.31)$$

Kemudian persamaan-persamaan diatas disubstitusikan ke persamaan panas pada benda tiga dimensi dalam koordinat tabung maka akan menjadi :

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

$$\begin{aligned} \frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{1}{r} \frac{T_{i+1,j,k} - T_{i-1,j,k}}{2\Delta r} + \frac{T_{i+1,j,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i-1,j,k}}{\Delta^2 r} \\ &\quad + \frac{T_{i,j+1,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i,j-1,k}}{\Delta^2 z} \end{aligned} \quad (4.32)$$

$$\begin{aligned} T_{i,j,k+1} &= T_{i,j,k} \left(1 - \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 r} + \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 z} \right) + T_{i+1,j,k} \left(\frac{2\alpha\Delta t}{2r\Delta r} + \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 r} \right) \\ &\quad + T_{i-1,j,k} \left(\frac{2\alpha\Delta t}{2r\Delta r} + \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 r} \right) + T_{i,j+1,k} \left(\frac{\alpha\Delta t}{\Delta^2 z} \right) \\ &\quad + T_{i,j-1,k} \left(\frac{\alpha\Delta t}{\Delta^2 z} \right) \end{aligned}$$

4.2 Sifat Termal Material Kemasan dan Yoghurt

Menurut Ramos dkk (2015) fungsi utama kemasan adalah untuk melindungi makanan atau minuman dari proses degradasi. Pemilihan material kemasan yang tepat merupakan langkah penting untuk menjaga kualitas dan kesegaran produk selama distribusi dan penyimpanan. Faktor utama yang perlu diperhatikan yang dapat mempengaruhi kualitas produk yaitu: pH dan suhu penyimpanan. Stabilitas warna dan daya tahan suatu minuman bisa diatur dengan suhu lingkungan yang rendah. Material yang paling sering digunakan untuk produk minuman adalah plastik dan kaca.

Perpindahan kalor dari suhu lingkungan melalui material kemasan dan yoghurt bergantung pada sifat termalnya, yaitu meliputi kalor jenis, densitas dan konduktivitas termal. Sifat termal merupakan sifat yang menunjukkan respon material terhadap panas yang diterima suatu bahan/material. Kemasan yang baik

adalah kemasan yang memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah dan nilai densitas yang tinggi.

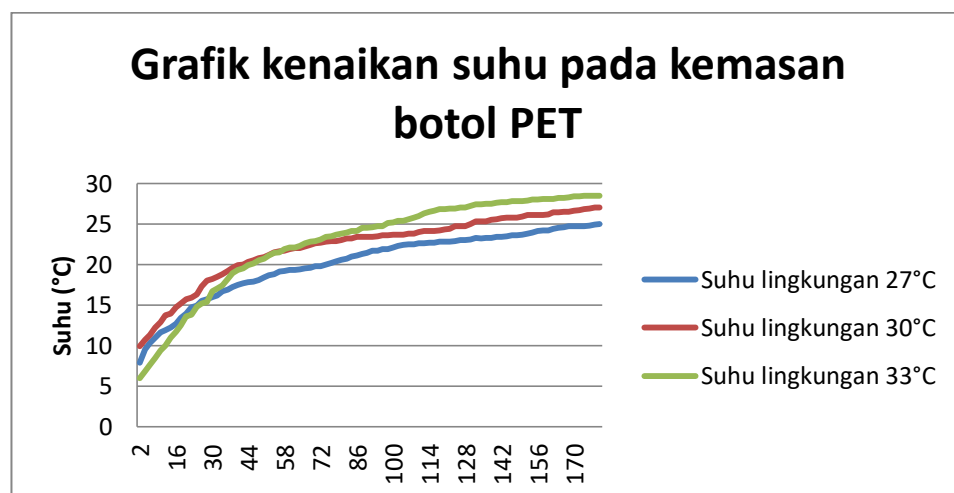
Tabel 4.1 Sifat Termal Material Kemasan dan Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Densitas (Kg/m ³)	Kalor Jenis (J/Kg°C)	Konduktivitas Termal (W/mK)	Referensi
1	PET	1380	1200	0,15	Crawford,2020
2	HDPE	970	1900	0,45	Crawford,2020
3	Kaca	2880	840	0,8	Crawford,2020
4	Yoghurt	1030	380	0,47	Riedel,1949

4.3 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini terdapat 2 hasil penelitian yaitu hasil eksperimen atau pengukuran suhu secara langsung dan hasil simulasi menggunakan software MATLAB R2013a.

4.3.1 Hasil Eksperimen

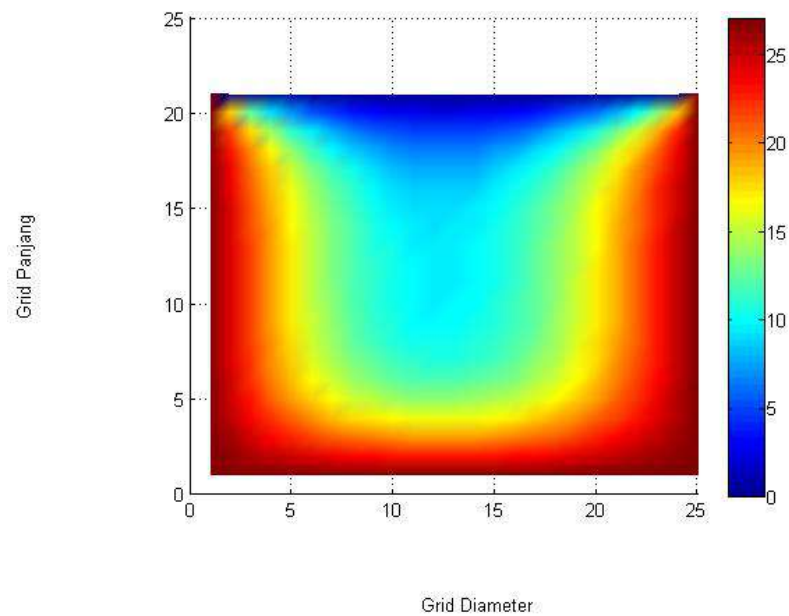


Gambar 4.2 Grafik Kenaikan Suhu pada Kemasan Botol PET

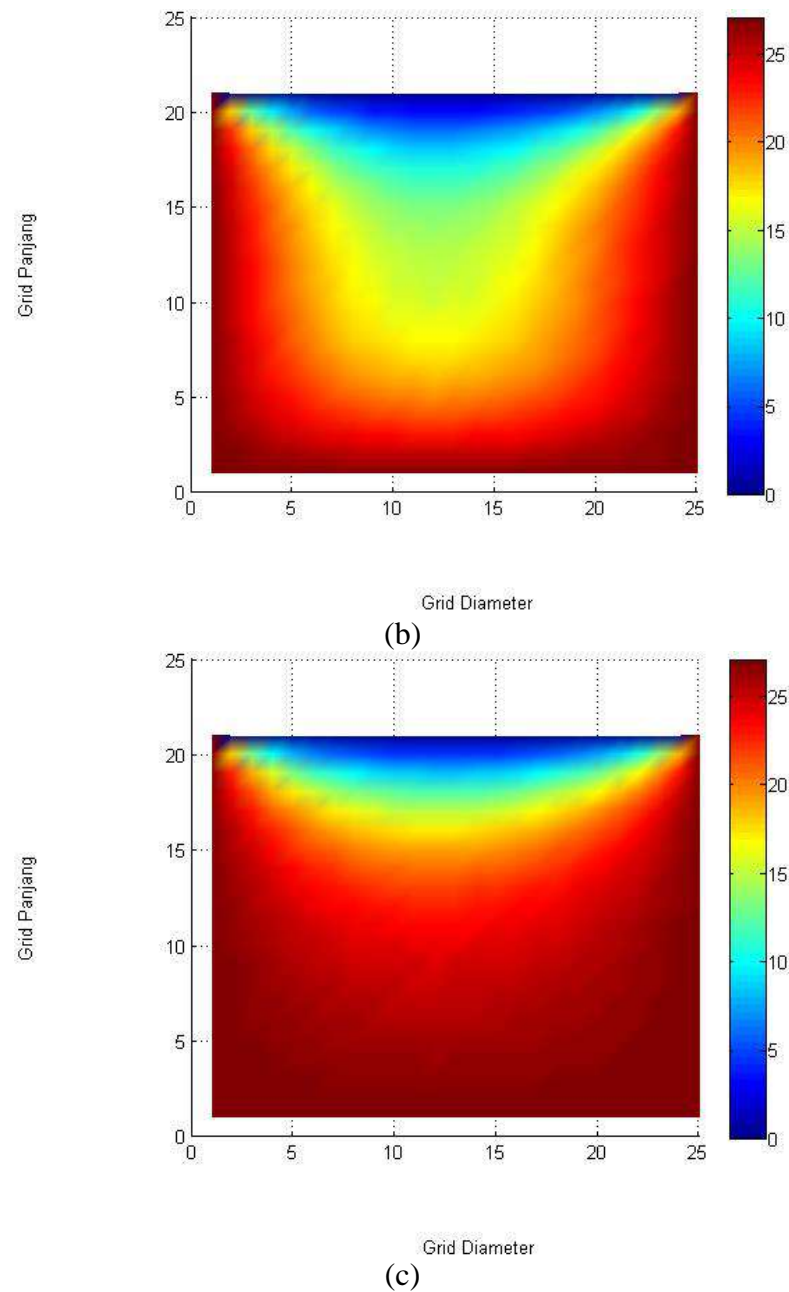
Pada gambar 4.2 yoghurt mengalami perubahan suhu ketika diberi perlakuan variasi suhu lingkungan menggunakan inkubator yaitu 27°C, 30°C dan 33°C. Pengukuran suhu dilakukan setiap 2 menit selama 3 jam penelitian

menggunakan thermometer digital. Semakin besar variasi suhu lingkungan yang diberikan maka semakin besar pula kenaikan suhu pada yoghurt. Suhu yoghurt setelah divariasikan suhu lingkungannya berbeda-beda sesuai dengan material kemasan nya. Sifat termal dari kemasan yang digunakan mempengaruhi perubahan suhu yoghurt terhadap lingkungan. Semakin tinggi nilai konduktivitas termal efektif maka distribusi temperatur tiap titik semakin rendah, namun laju perpindahan panas semakin besar. Namun selain dipengaruhi konduktivitas termal, perpindahan panas juga dipengaruhi oleh sifat termal yang lain yaitu densitas dan kalor jenis.

4.3.2 Hasil Simulasi



(a)



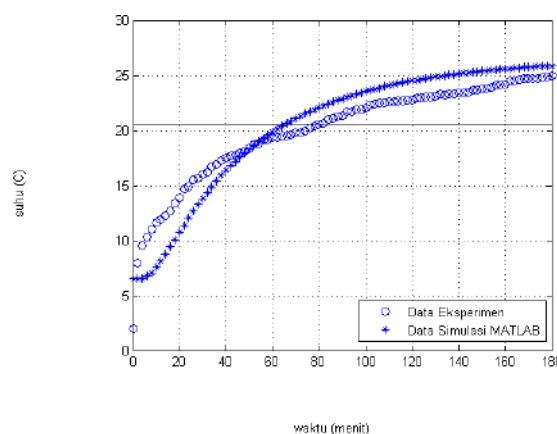
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu 27°c pada Waktu 30, 60,180 Menit

Pada gambar 4.3(a) menunjukkan perpindahan panas dari suhu lingkungan yang merambat menuju pusat botol. Pada waktu 30 menit suhu di pusat botol yaitu 16°C yang divisualisasikan dengan warna hijau. Sumbu x dan y menunjukkan jumlah grid dari ukuran diameter dan panjang. Perambatan panas

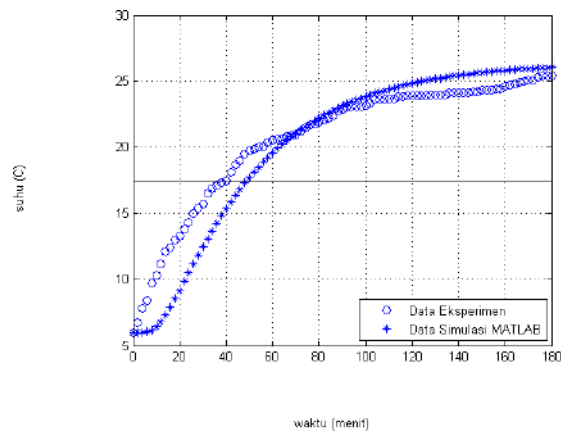
yang terlihat pada simulasi hanya dari bawah dan samping saja karena tutup botol terbuat dari material yang berbeda sehingga dapat diabaikan dan pada bagian atas kemasan masih berwarna biru yang menunjukkan suhu dibawah 10°C . Gambar 4.3(a) merupakan hasil simulasi yoghurt pada waktu 30 menit yang memerlukan 75 kali running. 1 kali running data mewakili waktu selama 24 detik, sehingga untuk mendapatkan hasil simulasi pada waktu 3 jam diperlukan 450 kali running data. Suhu awal pada pusat kemasan yoghurt adalah 7°C sedangkan suhu akhirnya setelah 3 jam adalah 25°C sebagaimana terlihat pada gambar 4.3(c).

4.4 Perbandingan Hasil Penelitian

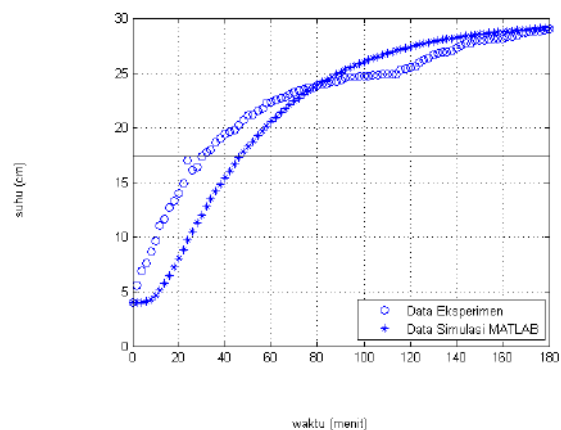
Grafik perbandingan hasil penelitian ini dibuat untuk mengetahui persentase kesalahan simulasi yang digunakan yang dibandingkan dengan nilai hasil eksperimen. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang mendekati data eksperimen maka dilakukan evaluasi akurasi dengan *forecasting* menggunakan 2 cara yaitu MAPE dan RMSE. Hasil perbandingan data eksperimen dengan simulasi dikatakan akurat jika memiliki nilai MAPE dan RMSE yang rendah (Machmudin,2012).



Gambar 4.4 Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu Lingkungan 27°C Dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi



Gambar 4.5 Perbandingan suhu yoghurt pada kemasan HDPE dengan suhu lingkungan 27°C dari hasil eksperimen dengan simulasi



Gambar 4.6 Perbandingan Suhu Yoghurt pada Kemasan Kaca dengan Suhu Lingkungan 27°C dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi MATLAB

Gambar 4.4, gambar 4.5 dan gambar 4.6 menunjukkan grafik hasil perbandingan perubahan suhu yoghurt dalam kemasan PET, HDPE dan kaca pada eksperimen dan simulasi MATLAB. Setiap kemasan memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan sifat termal masing-masing. Keakuratan hasil simulasi menggunakan matlab ini dapat dilihat melalui ketiga grafik diatas. Pada yoghurt kemasan PET nilai dari RMSE dan MAPE 1,84 dan 11,5, untuk HDPE 1,89 dan 8,95 sedangkan untuk kaca 0,74 dan 4,15. Nilai RMSE dan MAPE tersebut menunjukkan perbedaan antara nilai antara keduanya hanya sedikit. Rata-rata dari

nilai RMSE dan MAPE yoghurt dalam ketiga kemasan tersebut yaitu 1,49 dan 8,2.

4.5 Pengukuran pH Yoghurt Terhadap Perubahan Suhu Lingkungan

Parameter yang digunakan untuk mengetahui ketahanan yoghurt dalam penelitian ini yaitu dengan mengukur pH. Kualitas yoghurt dapat dibedakan menjadi kualitas kimia, fisika, organoleptik, maupun mikrobiologinya (Buckle *et al.*, 1987). Nilai pH yoghurt berdasarkan kriteria SNI berkisar antara 3,8 - 4,4. Kadar asam laktat merupakan salah satu parameter kualitas yoghurt secara kimia. Persen asam laktat dihitung sebagai total asam, karena dalam yoghurt asam organik yang paling banyak dihasilkan adalah asam laktat sekaligus yang menjadi produk utama. Menurut (Uyun, 2018) pemberian perlakuan penyimpanan yoghurt dapat mengubah kadar asam laktat, dimana semakin lama penyimpanan, semakin tinggi kadar asam laktat yang dihasilkan karena semakin lama waktu penyimpanan maka akan semakin banyak pula laktosa yang dipecah menjadi asam laktat. Kadar asam laktat akan meningkat selama penyimpanan. Peningkatan kadar asam laktat dapat terjadi akibat aktivitas bakteri yang memecah laktosa pada susu menjadi asam-asam organik.

Nilai keasaman yoghurt berubah selama penyimpanan. Hal ini karena penyimpanan yoghurt dalam suhu ruangan memicu terjadinya reaksi kimia yang mengakibatkan penurunan pH produk. Rahman dkk, (1992) menyatakan bahwa yoghurt yang disimpan pada suhu dingin dapat mencegah pembentukan asam yang berkelanjutan dan menghambat aktivitas kultur laktat. Winarno dan Fernandez (2007) menyatakan bahwa asam laktat yang dihasilkan dari

metabolisme karbohidrat akan dapat menurunkan nilai pH lingkungan pertumbuhannya dan menimbulkan rasa asam.

Pengukuran pH dilakukan menggunakan pHmeter yang dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan sehingga mendapatkan hasil yang akurat. Setiap 20 menit dalam waktu 3 jam penelitian dilakukan pengukuran pH. Jika pada waktu tertentu nilai pH menurun maka dapat disimpulkan bahwa kualitas dari yoghurt tersebut juga menurun. Hal tersebut dipengaruhi oleh suhu lingkungan di sekitar yoghurt dan material kemasannya. Pada suhu 27⁰C yoghurt dengan kemasan PET yoghurt mengalami penurunan pH dari 3,9 menjadi 3,8 pada menit ke 80. Untuk kemasan HDPE terjadi penurunan pH dari 3,9 menjadi 3,8 pada menit ke 40, kemudian terjadi penurunan lagi menjadi 3,7 pada menit ke 170. Sedangkan pada kemasan kaca penurunan pH terjadi pada menit ke 90.

4.6 Integrasi dalam Al-Qur'an

Ayat-ayat Al-Qur'an diturunkan oleh Allah SWT diperuntukkan kepada manusia baik lafadz, makna dan petunjuknya agar manusia terus belajar, menelaah keterangan dan tujuannya sebagai bekal di dunia dan akhirat. Al-Qur'an mencakup segala aspek kehidupan manusia termasuk didalamnya membahas masalah kesehatan dan fenomena alam.

Cara untuk menjaga kesehatan selain menjaga kebersihan adalah dengan mengkonsumsi makanan dan minuman yang bergizi, tentunya harus halal lagi baik. Sebagaimana firman Allah SWT yang menganjurkan untuk mengkonsumsi makanan yang halal dan baik dengan memperhatikan cara penyimpanannya, hal ini dapat disebut sebagai pemuliaan makanan seperti yang terdapat dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah ayat 168 yang berbunyi:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَلًا طَيِّبًا ۖ وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ ۚ إِنَّهُ لَكُمْ
عَدُوٌّ مُبِينٌ

“ Hai manusia sekalian, makanlah yang halal lagi baik dari apa yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan; karena sesungguhnya syaitan itu adalah musuh terbesarku” (QS. Al-Baqarah: 168)

Menurut tafsir Ibnu Katsir (2004) bahwa Allah SWT telah memberikan nikmat yaitu dengan membolehkan atau (menghalalkan) manusia memakan apa yang telah diciptakan di muka bumi. Makanan dan minuman yang diperbolehkan adalah makanan yang halal, baik dan bermanfaat bagi diri manusia serta tidak membahayakan bagi tubuh dan akal pikiran. Allah melarang mereka mengikuti langkah-langkah setan, yakni jalan-jalan dan sepak terjang yang digunakan untuk menyesatkan para pengikutnya, seperti mengharamkan *bahirah* (hewan unta bahirah), *saibah* (hewan unta saibah), *wasilah* (hewan unta wasilah), dan lain sebagainya yang dihiaskan oleh setan terhadap mereka dalam masa Jahiliah.

Untuk memilih makanan yang baik (*tayyib*) diperlukan pemahaman sumber makanan dan nilai gizinya. Tetapi itu saja belumlah cukup karena masih diperlukan syarat berikutnya, yakni makanan tersebut harus aman, tidak menimbulkan cedera, penyakit, atau bahkan keracunan yang membawa kematian. Untuk mencegah efek buruk dari makanan diperlukan juga pengetahuan untuk mengidentifikasi dan mengetahui kadar kontaminan. Dengan mengetahui penyebab dampak buruk makanan, kita akan mengetahui cara pencegahannya.

Pada penelitian ini pemuliaan makanan dilakukan dengan cara menganalisis kemasan yang tepat untuk yoghurt agar meminimalisir penurunan kualitas dan mengestimasi waktu maksimum yang diperlukan yoghurt hingga mencapai suhu maksimum pada saat proses distribusi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh variasi material kemasan terhadap yoghurt ditunjukkan oleh hasil pengukuran suhu baik pada eksperimen maupun pada simulasi. Kemasan yang baik adalah kemasan yang memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah dan nilai densitas yang tinggi. Material kemasan yang mengalami perambatan panas yang lambat yaitu kaca. Kemudian diikuti oleh kemasan PET dan HDPE. Meskipun kaca memiliki nilai konduktivitas termal yang cukup tinggi yaitu $0,8 \text{ W/mK}$ namun nilai densitas kaca jauh lebih tinggi daripada material lain yaitu 2880 Kg/m^3 .
2. Pengaruh penambahan suhu lingkungan terhadap yoghurt ditunjukkan oleh perubahan suhu yoghurt yang semakin cepat berdasarkan besar suhu lingkungan yang diberikan yaitu 27°C , 30°C dan 33°C .
3. Waktu yang dibutuhkan yoghurt sampai mengalami penurunan pH berbeda berdasarkan kemasan dan suhu lingkungannya. Hal ini dapat diketahui dari hasil penelitian yang menunjukkan bahwa yoghurt kemasan HDPE mengalami penurunan pH paling cepat dengan waktu 40 menit yang diikuti oleh kemasan PET dengan waktu 80 menit kemudian kemasan kaca dengan waktu 90 menit. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa yoghurt yang disimpan dalam kemasan kaca memiliki kualitas lebih baik daripada yoghurt dalam kemasan PET dan HDPE.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan pengukuran jumlah koloni bakteri pada yoghurt sebagai acuan penentuan kualitas yoghurt agar semakin akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2003. Tafsir Ibnu Katsir Jilid 1. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Abdullah, M. 2003. Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Al-Qur'an dan terjemahan. 2004. Departemen Agama RI. Jakarta: J-ART.
- Boas, M. L., 1983. *Mathematical Methods In The Physical Sciences*. Singapura: John Wiley & Sons.
- Buckle, K. A., R.A. Edwards., G.H. Fleet. & M. Wootton. 1987. *Ilmu Pangan*. Jakarta: UI Press.
- Cengel, Y. A., 2002, *Heat Transfer A Practical Approach 2nd Edition*, New York: McGraw-Hill.
- Cevoli dan Fabbri. 2017. *Heat Transfer Finite Element Model of Fresh Fruit Salad Insulating Packages In Non-Refrigerated Conditions*. Biosystems Engineering 153 (2017) 89-98. Department of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna.
- Chapra, S.C. dan Canale R.P., 1990, *Numerical Methods for Engineers*, 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., New York.
- Crawford, R.J dan Martin, PJ. 2020. *Plastics Engineering: Fourth Edition*. Butterworth-Heinemann. An imprint of Elsevier.
- Everlin dan Yosephine. 2018. *Analisis Desain Kemasan Yoghurt Drink "Cimory"*. Jurnal Titik Imaji 1 (2): 109-121.
- Fagan, M. J., 1992. *Finite Element Analysis, Theory and Practice*, Longman Scientific and Technical, Essex, England.
- Firsto, R.K., Setyowati dan Hanifah I. 2017. *Strategi Integrated Marketing Communication (IMC) Usaha Kedai Susu Mom Milk Untuk Menarik Minat Konsumen*. SEPA 13 (2): 167-177.
- Hidayat, R dan Pradjaningsih, A. 2002. *Model Perpindahan Panas pada Benda-Benda Ellipsoidal*. Tidak dipublikasikan. Laporan Penelitian. Jember : Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.
- Holman, J.P. 1994. *Perpindahan kalor*, Edisi Keenam. Jakarta: Erlangga.

- Incropera, F.P. dan DeWitt, D.P. 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3th ed. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Irdiati, Jatisworo. 2013. "*Simulasi Model Perpindahan Panas pada Proses Sterilisasi Pengalengan Ikan Tuna. Skripsi*". Skripsi. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Jurusan Matematika. Universitas Jember.
- James, M.L., et.al. 1993. *Applied Numerical Methods for Digital Computation*, HarperCollins College Publishers.
- Jawetz, E. 1980. *Review of Medical Microbiology*. 11th Edition. Los Altos: Lange Medical Publication.
- Latief. 2000. *Teknologi Kemasan Plastik Biodegradable*. Hayati-IPB. Bogor.
- Marsh, K. dan B. Bugusu. 2007. *Food Packaging-Roles, Materials, and Environmental Issues*. J. Food Science Vol 72 : R39-R57.
- Machmudin, Ali dkk. 2012. *Peramalan Temperatur Udara Di Kota Surabaya dengan Menggunakan ARIMA dan Artificial Neural Network*. Surabaya. Jurnal Sains dan Seni ITS. DOI: 10.12962/j23373520.v1i1.129
- Nurhikmat, dkk. 2014. *Pemodelan Pindah Panas pada Proses Sterilisasi Gudeg Kaleng. Reaktor*, Vol. 15 No. 1, April 2014, Hal. 64-72.
- Prabandari, W. 2011. *Pengaruh Penambahan Berbagai Jenis Bahan Penstabil terhadap Karakteristik Fisikokimia dan Organoleptik Yoghurt Jagung. Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Prayitno. 2006. *Kadar Asam Laktat dan Laktosa Yoghurt Hasil Fermentasi Menggunakan Berbagai Rasio Jumlah Sel Bakteri dan Presentase Starter*. Journal of animal product. No.2. vol. VIII: 131-136.
- Putri, Y.S., Kusharyati, D.F. dan Pramono, H. 2020. *Kualitas Yoghurt dengan Penambahan Bifidobacterium sp. Bb2E*. Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman. BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed Volume 2, Nomor 1 (2020) : 49 – 55 E-ISSN : 2714-8564
- Rahman, Fardiaz., Rahayu, Suliantari. dan Nurwitri, C. C.1992. *Teknologi Fermentasi Susu*. Bogor. Pusat Antar Universitas. Institut Pertanian Bogor.
- Ramos, et.al. 2015. *New Trends in Beverage Packaging Systems: A Review*. www.mdpi.com/journal/beverages. Beverages 2015, 1, 248-272; doi:10.3390/beverages1040248.
- Riedel, L. 1949. *Thermal conductivity measurements on sugar solutions, fruit juices and milk*. Chemie-Ingenieur-Technik 21(17):340-341.

- Saint-Eve, et.al. 2008. *Quality changes in yogurt during storage in different packaging materials*. www.elsevier.com/locate/foodchem. Food Chemistry 110 (2008) 285–293.
- Sucipta. 2004. *Kajian Pengemasan yang Aman, Nyaman, Efektif dan Efisien*. Denpasar: Udayana University Press.
- Suparno dan Supriyanto. 2010. *Komputasi untuk Sains dan Teknik Menggunakan Matlab*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia: Depok.
- Triatmodjo, Bambang. 2002. *Metode Numerik dilengkapi dengan Program Komputer*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Uyun, Qurrotul. 2018. *Analisis Lama Penyimpanan Yoghurt Menggunakan Box Sekam Padi Sebagai Sarana Menjaga Baku Mutu Yoghurt Berdasarkan Suhu, Pertumbuhan Bakteri dan pH pada Yoghurt*. Skripsi. Malang. Fakultas Sains dan Teknologi. Jurusan Fisika. UIN Malik Ibrahim.
- Winarno, F. G. dan Fernandez, I. E. 2007. *Susu dan Produk Fermentasinya*. Bogor. Mbrion Press.
- Wulandari dan Putranto. 2010. *Karakteristik Stirred Yoghurt Mangga (*Mangifera indica*) dan Apel (*Malus domestica*) Selama Penyimpanan*. Jurnal Ilmu Ternak, Juni 2010, Vol. 10 No. 1, 14-16. Fakultas Peternakan Universitas Padjajaran.
- Yang, W. Y. 2005. *Applied Numerical Methods Using Matlab*. USA: Wiley Interscience.
- Yusmarini dan Effendi. 2004. *Evaluasi Mutu Yoghurt yang Dibuat dengan Penambahan Beberapa Jenis Gula*. Jurnal Nature Indonesia. 104-1

LAMPIRAN

Lampiran 1

Hasil Pengukuran Suhu Pada Eksperimen

1. Yoghurt kemasan PET Suhu Lingkungan 27°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	7,9	62	19,3	122	22,9
4	9,5	64	19,4	124	22,9
6	10,3	66	19,5	126	23
8	11	68	19,6	128	23
10	11,6	70	19,8	130	23,1
12	11,9	72	19,8	132	23,3
14	12,2	74	20	134	23,2
16	12,7	76	20,2	136	23,3
18	13,4	78	20,4	138	23,3
20	13,9	80	20,6	140	23,4
22	14,7	82	20,7	142	23,4
24	14,9	84	21	144	23,5
26	15,5	86	21,1	146	23,6
28	15,7	88	21,3	148	23,6
30	16	90	21,4	150	23,7
32	16,2	92	21,7	152	23,8
34	16,7	94	21,7	154	23,9
36	16,9	96	21,9	156	24,1
38	17,2	98	21,9	158	24,2
40	17,5	100	22,1	160	24,2
42	17,7	102	22,3	162	24,4
44	17,8	104	22,4	164	24,5
46	17,9	106	22,5	166	24,6
48	18,1	108	22,5	168	24,7
50	18,4	110	22,6	170	24,7
52	18,7	112	22,6	172	24,7
54	18,8	114	22,7	174	24,7
56	19,1	116	22,7	176	24,8
58	19,2	118	22,8	178	24,9
60	19,3	120	22,8	180	25

2. Yoghurt kemasan PET Suhu Lingkungan 30°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	9,9	62	22	122	24,4
4	10,7	64	22	124	24,7

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
6	11,3	66	22,2	126	24,7
8	12,2	68	22,4	128	24,7
10	12,9	70	22,6	130	25
12	13,7	72	22,7	132	25,3
14	13,9	74	22,8	134	25,3
16	14,7	76	22,9	136	25,3
18	15,2	78	22,9	138	25,5
20	15,7	80	23	140	25,6
22	15,9	82	23,2	142	25,7
24	16,3	84	23,2	144	25,8
26	17,3	86	23,4	146	25,8
28	18	88	23,4	148	25,8
30	18,2	90	23,4	150	25,9
32	18,5	92	23,4	152	26,1
34	18,8	94	23,5	154	26,1
36	19,2	96	23,6	156	26,1
38	19,6	98	23,6	158	26,1
40	19,9	100	23,7	160	26,2
42	20	102	23,7	162	26,4
44	20,3	104	23,7	164	26,4
46	20,5	106	23,8	166	26,5
48	20,8	108	23,8	168	26,5
50	20,9	110	24	170	26,6
52	21,2	112	24,1	172	26,7
54	21,5	114	24,1	174	26,8
56	21,6	116	24,1	176	26,9
58	21,7	118	24,2	178	27
60	21,9	120	24,3	180	27

3. Yoghurt kemasan PET Suhu Lingkungan 33°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	6	62	22,1	122	26,9
4	6,8	64	22,3	124	26,9
6	7,6	66	22,6	126	27
8	8,5	68	22,8	128	27
10	9,4	70	22,9	130	27,2
12	10	72	23,1	132	27,4
14	11	74	23,4	134	27,4
16	11,7	76	23,5	136	27,5
18	12,5	78	23,7	138	27,5

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
20	13,6	80	23,8	140	27,6
22	13,8	82	23,9	142	27,7
24	14,8	84	24,1	144	27,7
26	15,2	86	24,1	146	27,8
28	15,4	88	24,5	148	27,8
30	16,7	90	24,5	150	27,8
32	17	92	24,6	152	27,9
34	17,4	94	24,7	154	28
36	18,2	96	24,7	156	28
38	18,9	98	25,1	158	28,1
40	19,3	100	25,2	160	28,1
42	19,5	102	25,4	162	28,1
44	19,9	104	25,4	164	28,2
46	20,1	106	25,6	166	28,2
48	20,5	108	25,8	168	28,3
50	20,7	110	26	170	28,4
52	21,1	112	26,3	172	28,4
54	21,4	114	26,5	174	28,5
56	21,5	116	26,6	176	28,5
58	21,9	118	26,8	178	28,5
60	22,1	120	26,8	180	28,5

4. Yoghurt kemasan HDPE Suhu Lingkungan 27°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	6,7	62	20,6	122	23,9
4	7,8	64	20,7	124	23,9
6	8,4	66	20,8	126	23,9
8	9,7	68	20,9	128	24
10	10,3	70	21	130	24
12	11,2	72	21,2	132	24
14	12,1	74	21,5	134	24
16	12,4	76	21,7	136	24,1
18	13	78	21,8	138	24,1
20	13,3	80	21,9	140	24,1
22	13,8	82	22,1	142	24,1
24	14,3	84	22,2	144	24,1
26	15	86	22,4	146	24,2
28	15,4	88	22,7	148	24,2
30	15,7	90	22,9	150	24,3
32	16,5	92	23	152	24,3

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
34	16,9	94	23,1	154	24,3
36	17,1	96	23,1	156	24,4
38	17,3	98	23,1	158	24,4
40	17,5	100	23,2	160	24,6
42	18,1	102	23,3	162	24,7
44	18,7	104	23,6	164	24,8
46	19	106	23,6	166	24,9
48	19,5	108	23,6	168	25
50	19,7	110	23,7	170	25,1
52	19,9	112	23,7	172	25,1
54	20	114	23,8	174	25,3
56	20,1	116	23,8	176	25,4
58	20,4	118	23,9	178	25,4
60	20,5	120	23,9	180	25,4

5. Yoghurt kemasan HDPE Suhu Lingkungan 30°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	10,6	62	22,2	122	26,1
4	11,8	64	22,6	124	26,2
6	12,4	66	22,8	126	26,2
8	13,1	68	22,9	128	26,3
10	13,8	70	23	130	26,4
12	14,5	72	23,2	132	26,4
14	15	74	23,4	134	26,5
16	15,6	76	23,4	136	26,5
18	16,1	78	23,5	138	26,6
20	16,3	80	23,6	140	26,6
22	16,7	82	23,7	142	26,6
24	17	84	23,9	144	26,7
26	17,4	86	24	146	26,8
28	17,5	88	24,2	148	26,8
30	17,8	90	24,4	150	26,8
32	17,9	92	24,6	152	26,9
34	18,1	94	24,7	154	27
36	18,5	96	24,8	156	27
38	18,7	98	24,9	158	27,1
40	18,9	100	24,9	160	27,1
42	19,2	102	25	162	27,1
44	19,7	104	25,2	164	27,2
46	20	106	25,3	166	27,2

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
48	20,5	108	25,5	168	27,2
50	20,8	110	25,5	170	27,3
52	21	112	25,6	172	27,3
54	21,1	114	25,6	174	27,4
56	21,3	116	25,5	176	27,4
58	21,5	118	25,8	178	27,4
60	22	120	25,9	180	27,5

6. Yoghurt kemasan HDPE Suhu Lingkungan 33°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	5,6	62	22,5	122	25,6
4	6,9	64	22,7	124	25,9
6	7,6	66	22,8	126	26,2
8	8,6	68	23	128	26,4
10	9,6	70	23,2	130	26,6
12	11	72	23,4	132	26,8
14	11,6	74	23,5	134	26,9
16	12,7	76	23,6	136	26,9
18	13,3	78	23,6	138	27
20	14	80	23,8	140	27,2
22	14,9	82	23,9	142	27,5
24	17	84	24	144	27,7
26	16,1	86	24,2	146	27,7
28	16,4	88	24,2	148	27,9
30	17,3	90	24,3	150	27,9
32	17,8	92	24,5	152	27,9
34	17,9	94	24,6	154	28
36	18,6	96	24,6	156	28,1
38	19	98	24,7	158	28,1
40	19,4	100	24,7	160	28,1
42	19,6	102	24,7	162	28,3
44	19,8	104	24,8	164	28,3
46	20,2	106	24,8	166	28,4
48	20,7	108	24,9	168	28,6
50	21,1	110	24,9	170	28,6
52	21,2	112	24,9	172	28,7
54	21,5	114	24,9	174	28,8
56	21,7	116	25,3	176	28,8
58	22,2	118	25,4	178	28,9
60	22,3	120	25,5	180	29

7. Yoghurt kemasan Kaca Suhu Lingkungan 27°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	7,5	62	18,1	122	22,6
4	8	64	18,5	124	22,7
6	8,3	66	18,6	126	22,7
8	8,8	68	18,8	128	22,8
10	9	70	19,2	130	22,9
12	9,2	72	19,4	132	23
14	9,4	74	19,8	134	23,1
16	9,8	76	19,9	136	23,1
18	10	78	20,2	138	23,2
20	10,2	80	20,4	140	23,3
22	10,4	82	20,5	142	23,4
24	10,6	84	20,7	144	23,5
26	10,7	86	20,9	146	23,5
28	10,9	88	21	148	23,6
30	11,3	90	21,1	150	23,6
32	11,5	92	21,1	152	23,6
34	12,4	94	21,2	154	23,6
36	13	96	21,3	156	23,6
38	13,7	98	21,3	158	23,7
40	13,9	100	21,4	160	23,7
42	14,3	102	21,6	162	23,7
44	14,9	104	21,6	164	23,8
46	15,2	106	21,7	166	23,8
48	15,8	108	21,9	168	23,9
50	16	110	22	170	23,9
52	16,5	112	22,2	172	23,9
54	16,9	114	22,2	174	23,9
56	17,2	116	22,3	176	24
58	17,8	118	22,4	178	24
60	18	120	22,5	180	24

8. Yoghurt kemasan Kaca Suhu Lingkungan 30°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	5,1	62	20,6	122	24,2
4	5,9	64	20,7	124	24,3
6	6,6	66	20,8	126	24,3

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
8	7,7	68	21	128	24,6
10	8,4	70	21,2	130	24,6
12	9,4	72	21,3	132	24,7
14	10,1	74	21,5	134	24,8
16	11,1	76	21,6	136	24,9
18	11,6	78	21,8	138	24,9
20	12	80	22	140	25
22	12,9	82	22,2	142	25
24	13,5	84	22,2	144	25,1
26	13,9	86	22,4	146	25,1
28	14,6	88	22,5	148	25,1
30	15,3	90	22,6	150	25,2
32	15,7	92	22,8	152	25,2
34	16,2	94	22,9	154	25,2
36	16,4	96	23,1	156	25,3
38	16,9	98	23,2	158	25,3
40	17,3	100	23,4	160	25,5
42	17,9	102	23,4	162	25,5
44	18,1	104	23,5	164	25,5
46	18,4	106	23,7	166	25,6
48	18,7	108	23,9	168	25,6
50	19,4	110	24	170	25,6
52	19,5	112	24	172	25,7
54	19,8	114	24,1	174	25,7
56	20,2	116	24,1	176	25,7
58	20,3	118	24,1	178	25,9
60	20,5	120	24,2	180	26

9. Yoghurt kemasan Kaca Suhu Lingkungan 33°C

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
2	4,3	62	22,1	122	25,3
4	4,8	64	22,2	124	25,3
6	5,9	66	22,3	126	25,4
8	6,8	68	22,4	128	25,5
10	7,4	70	22,6	130	25,7
12	8,4	72	22,8	132	25,7
14	9,5	74	23	134	25,7
16	10,8	76	23,2	136	25,8
18	11,5	78	23,3	138	25,9

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
20	11,8	80	23,4	140	25,9
22	12,7	82	23,6	142	25,9
24	13,6	84	23,9	144	26
26	14,9	86	24	146	26
28	15,4	88	24,2	148	26,1
30	16,9	90	24,4	150	26,1
32	17,4	92	24,6	152	26,2
34	17,9	94	24,7	154	26,2
36	18,4	96	24,7	156	26,3
38	18,9	98	24,8	158	26,3
40	19,2	100	24,8	160	26,4
42	19,8	102	25	162	26,5
44	20	104	25,2	164	26,5
46	20,1	106	25,3	166	26,6
48	20,5	108	25	168	26,6
50	20,7	110	25	170	26,7
52	21	112	25,1	172	26,8
54	21,3	114	25,1	174	26,8
56	21,6	116	25,2	176	26,9
58	21,9	118	25,2	178	26,9
60	22	120	25,3	180	27

Lampiran 2

Hasil Pengukuran pH Pada Eksperimen

1. Yoghurt Kemasan PET

Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH
27	10	3,9	30	10	3,9	33	10	3,9
	30	3,9		30	3,9		30	3,9
	50	3,9		50	3,9		50	3,8
	70	3,9		70	3,8		70	3,8
	80	3,8		90	3,8		90	3,8
	110	3,8		100	3,8		110	3,8
	130	3,8		120	3,7		130	3,7
	150	3,8		150	3,7		150	3,7
	170	3,8		180	3,7		170	3,7
	180	3,8		200	3,7		180	3,7

2. Yoghurt Kemasan HDPE

Suhu Lingkungan (°C)	waktu (menit)	pH	Suhu Lingkungan (°C)	waktu (menit)	pH	Suhu Lingkungan (°C)	waktu (menit)	pH
27	10	3,9	30	10	3,9	33	10	3,9
	30	3,9		30	3,9		30	3,8
	40	3,8		40	3,8		50	3,8
	50	3,8		70	3,8		70	3,8
	70	3,8		90	3,8		90	3,7
	100	3,8		100	3,8		110	3,7
	140	3,8		120	3,7		130	3,7
	170	3,8		150	3,7		150	3,7
	190	3,7		180	3,7		170	3,7
	220	3,7		200	3,7		180	3,7

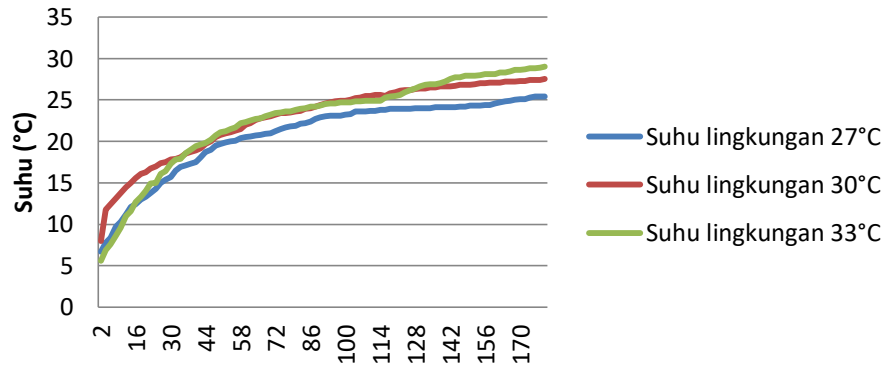
3. Yoghurt Kemasan Kaca

Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	pH
27	10	3,9	30	10	3,9	33	10	3,9
	30	3,9		30	3,9		30	3,9
	50	3,9		50	3,9		50	3,9
	70	3,9		70	3,9		70	3,8
	90	3,8		90	3,8		90	3,8
	110	3,8		110	3,8		110	3,8
	130	3,8		130	3,8		130	3,8
	150	3,8		150	3,8		150	3,8
	170	3,8		170	3,8		170	3,8
	180	3,8		180	3,8		180	3,8

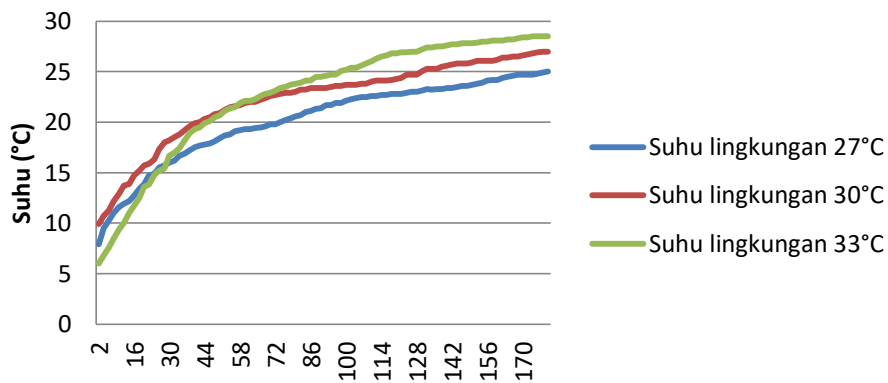
Lampiran 3

Grafik Kenaikan Suhu Pada Eksperimen

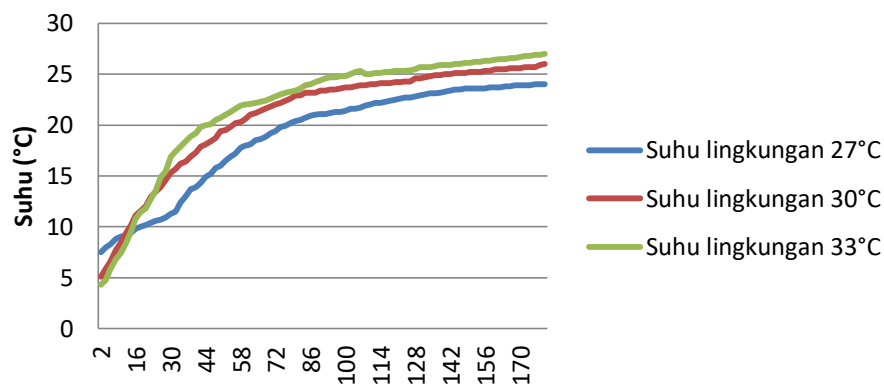
Grafik kenaikan suhu pada kemasan botol PET



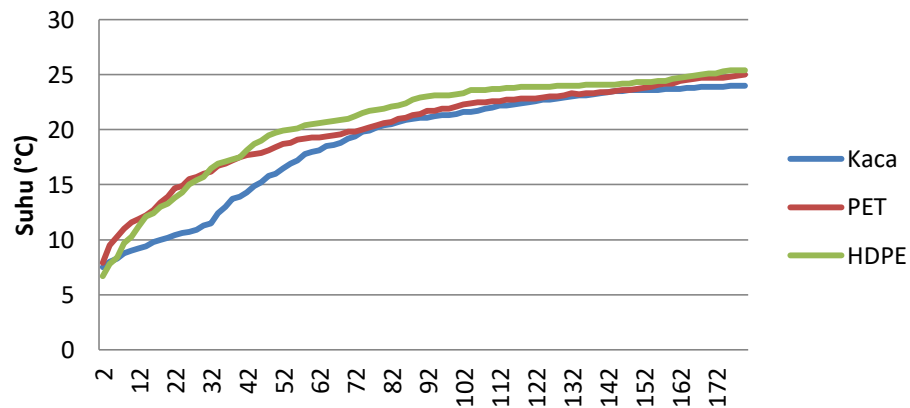
Grafik kenaikan suhu pada kemasan botol HDPE



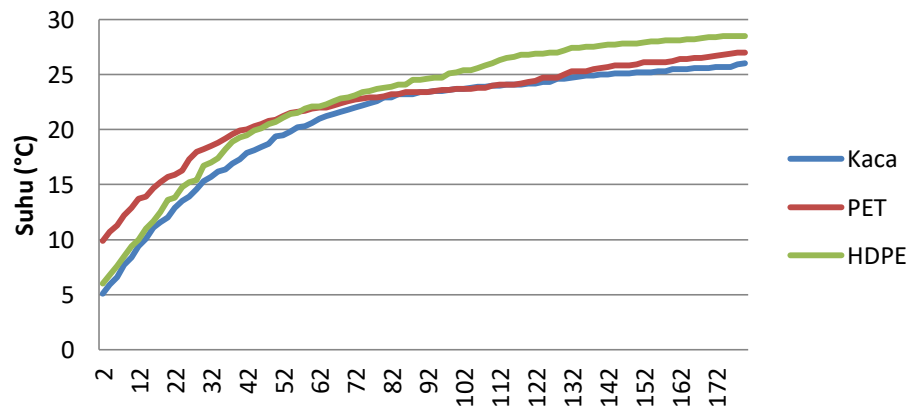
Grafik kenaikan suhu pada kemasan botol kaca



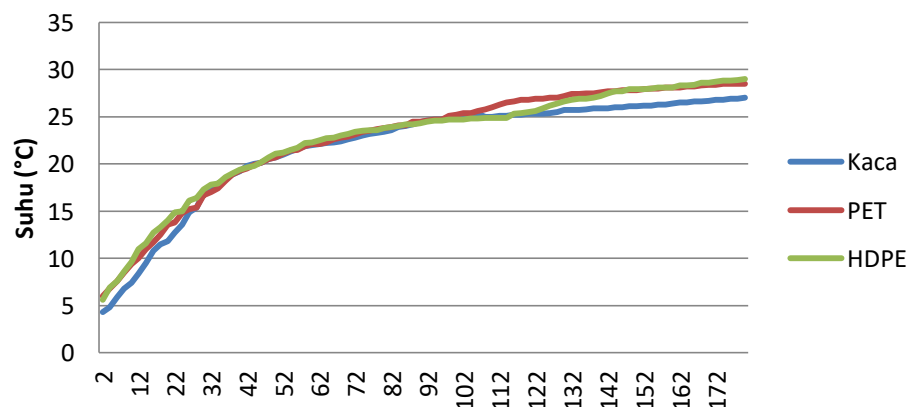
Grafik kenaikan suhu yoghurt pada suhu lingkungan 27°C



Grafik kenaikan suhu yoghurt pada suhu lingkungan 30°C

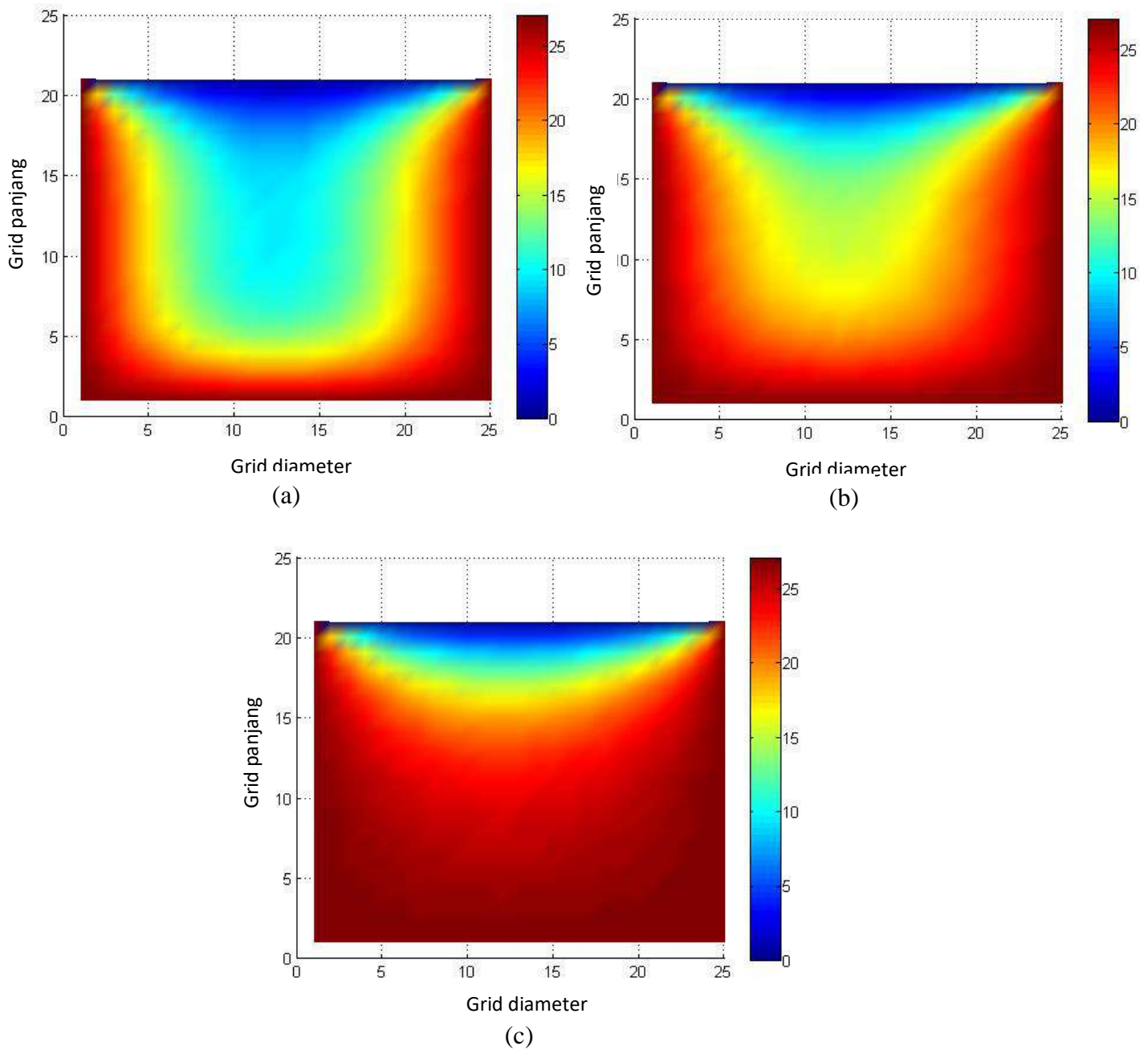


Grafik kenaikan suhu yoghurt pada suhu lingkungan 33°C

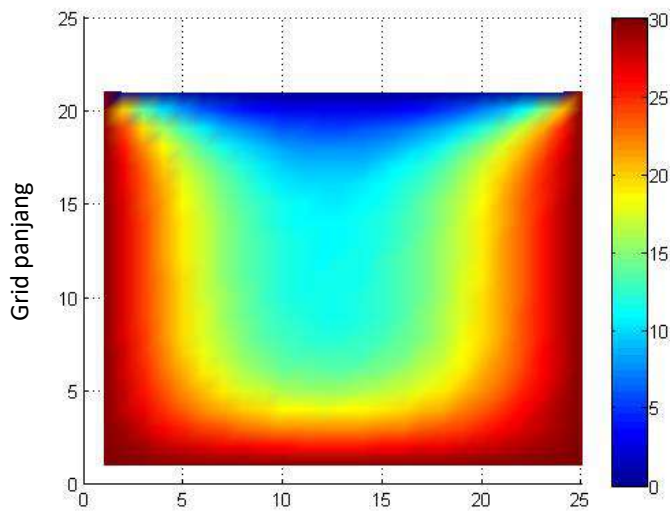


Lampiran 4

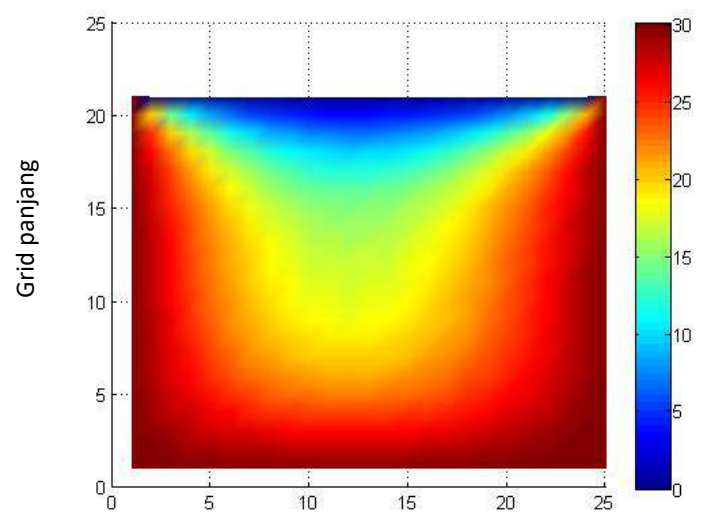
Hasil Simulasi MATLAB



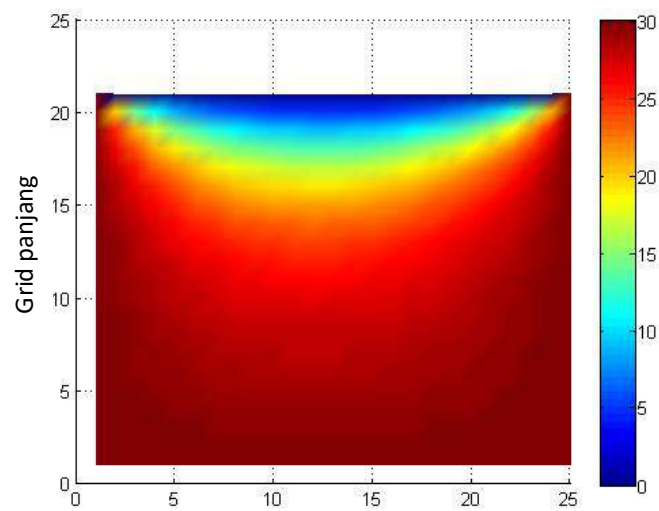
Gambar 1. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu 27°C pada Waktu 30, 60, 180 Menit



Grid diameter
(a)

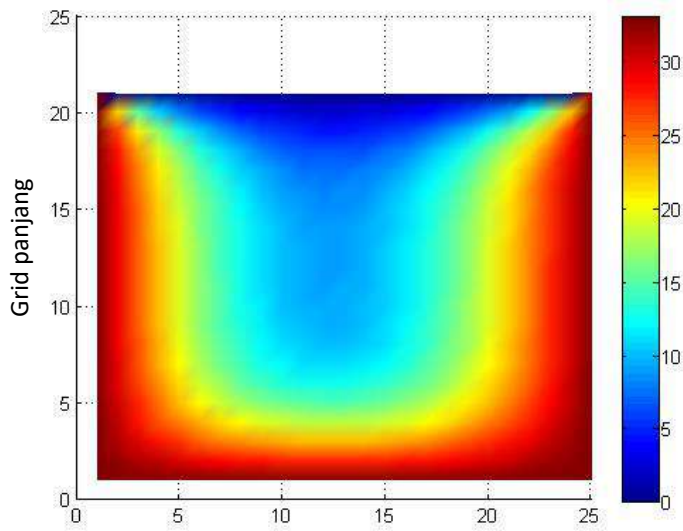


Grid diameter
(b)

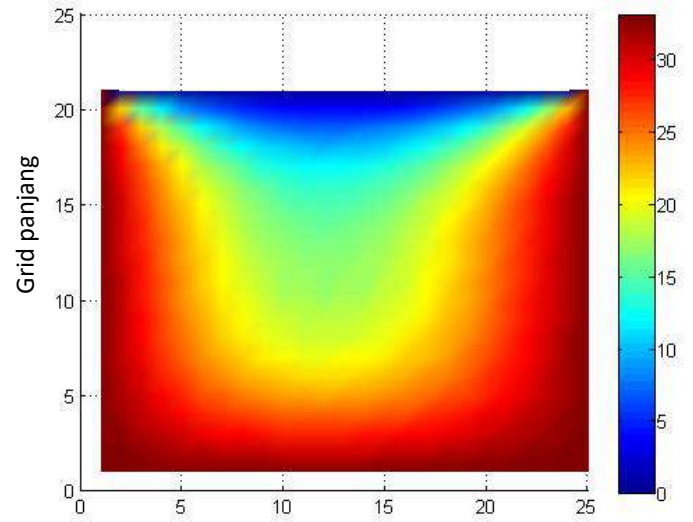


Grid diameter
(c)

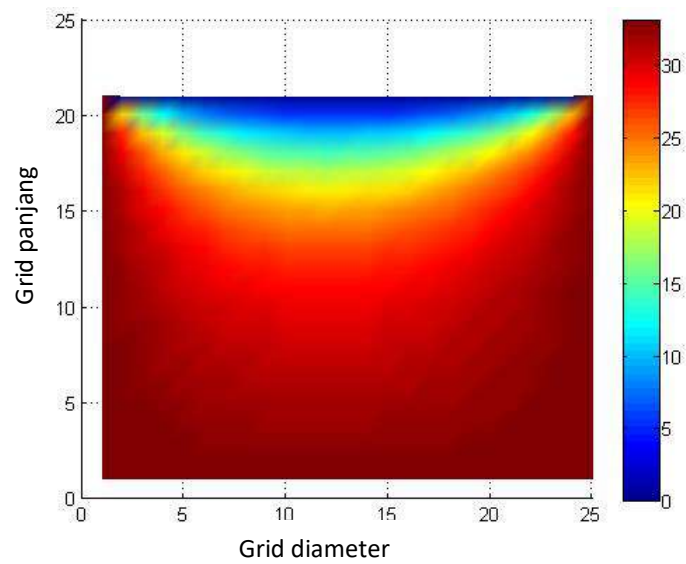
Gambar 2. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu 30°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



(a)

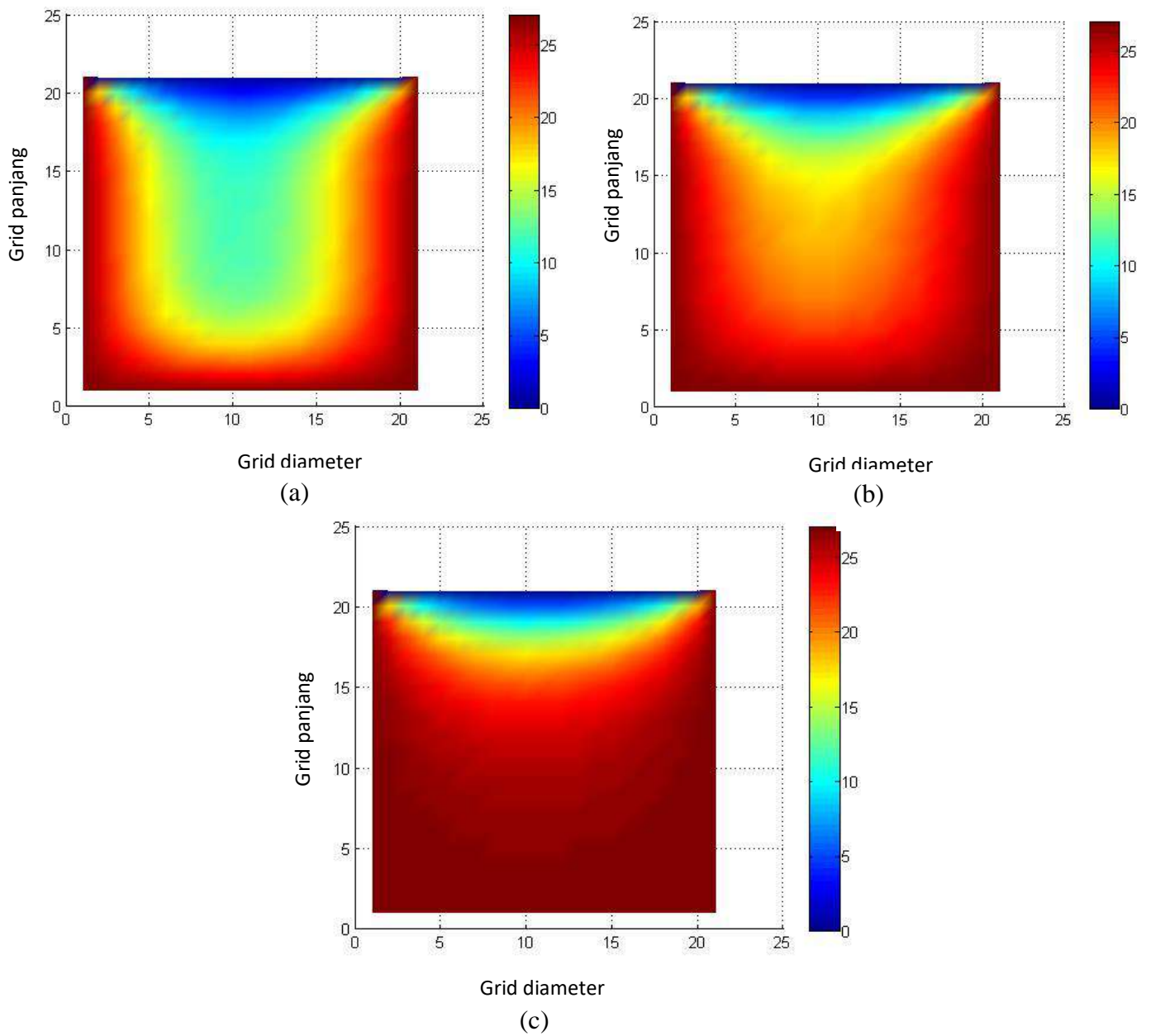


(b)

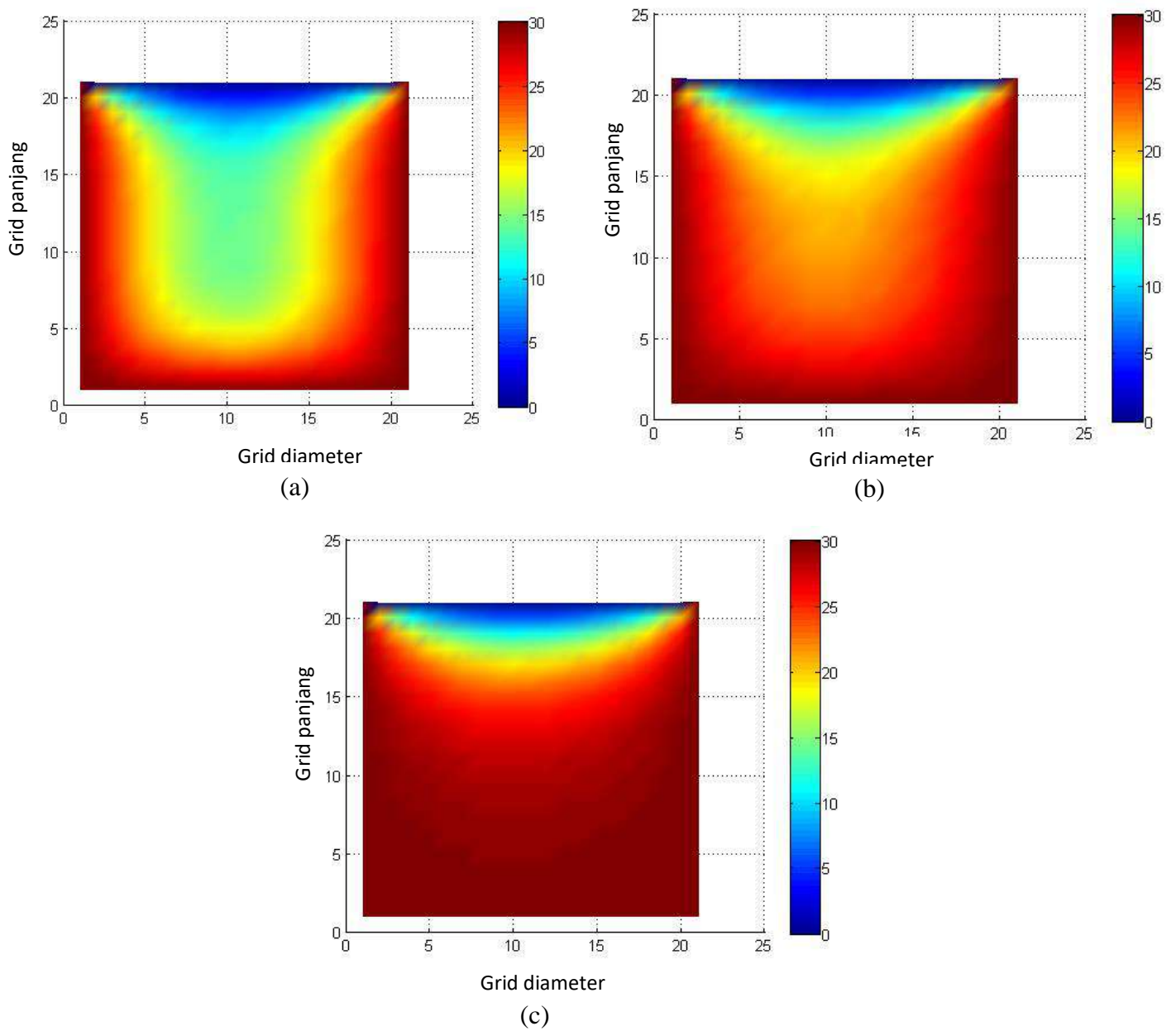


(c)

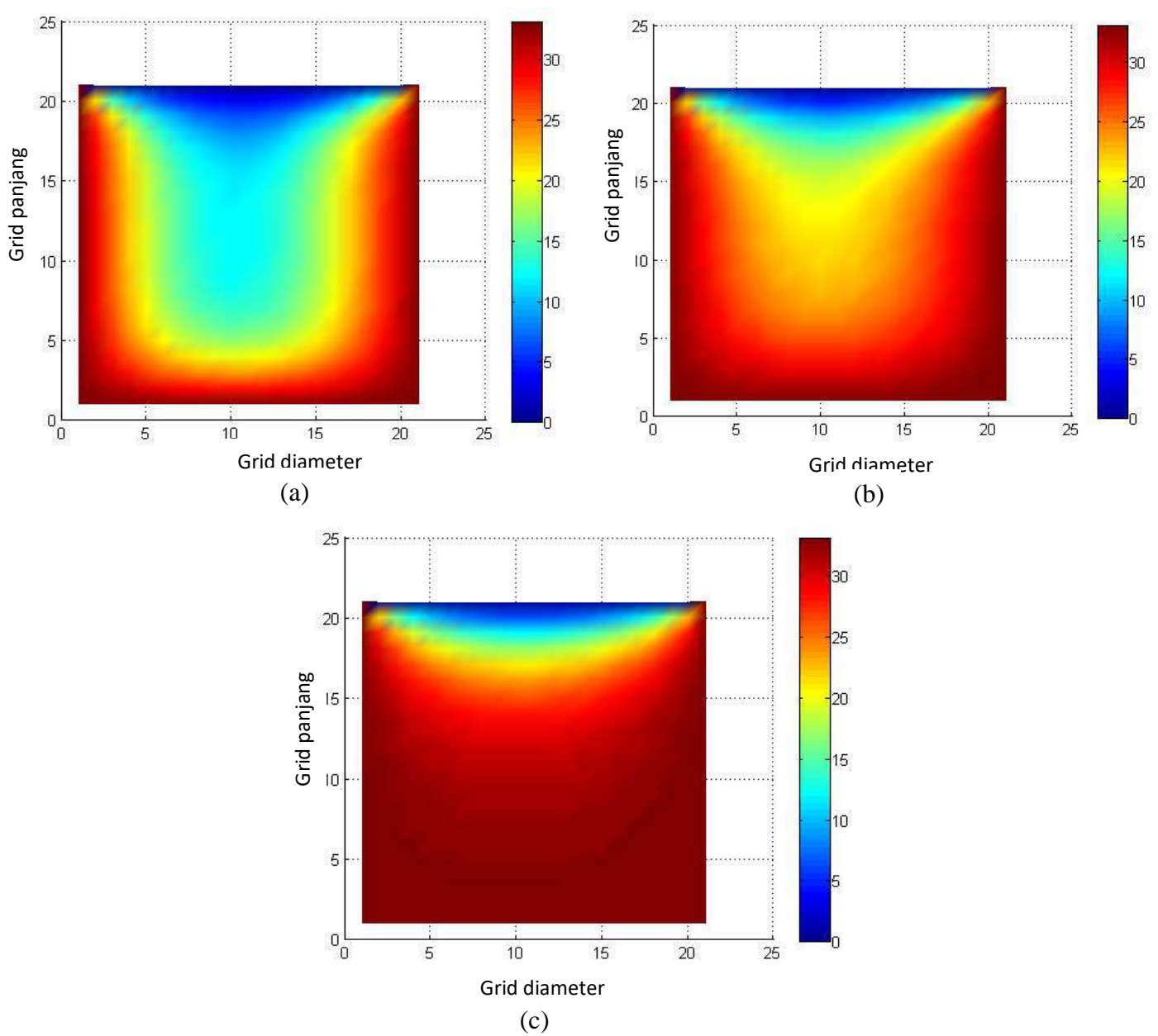
Gambar 3. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu 33°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



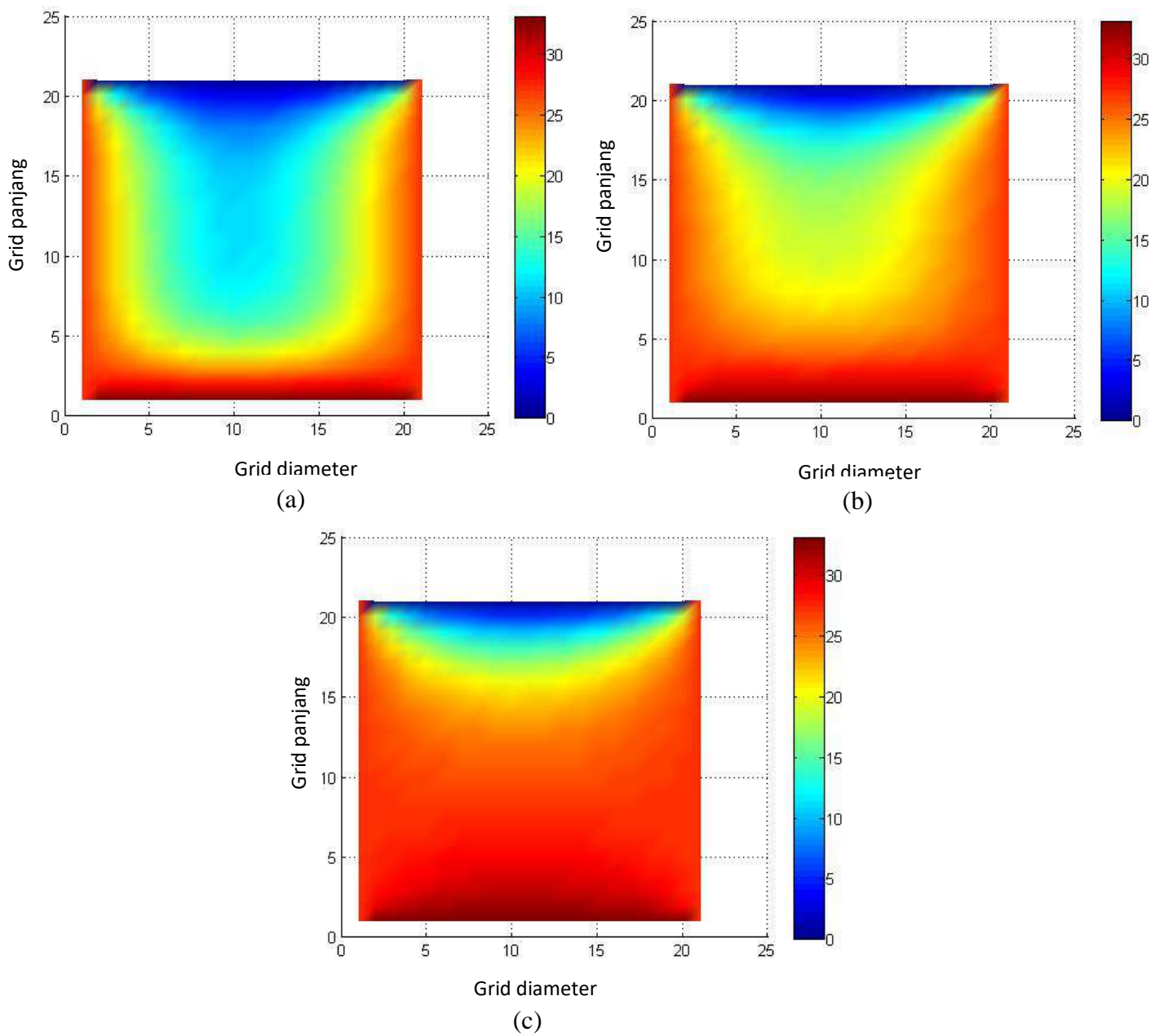
Gambar 4. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan HDPE Suhu 27°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



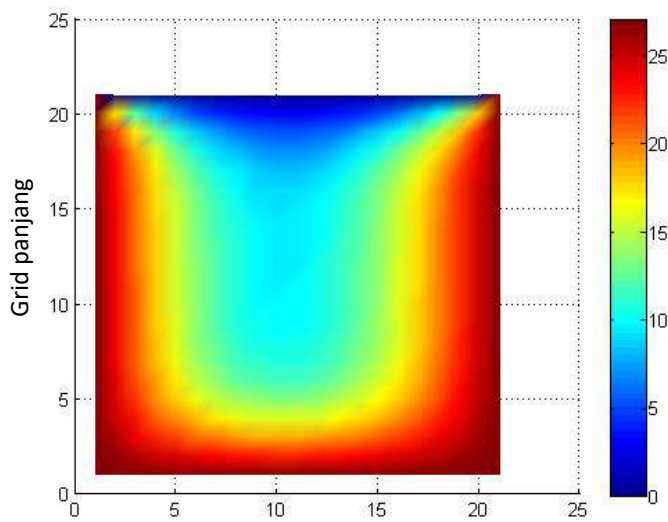
Gambar 5. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan HDPE Suhu 30°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



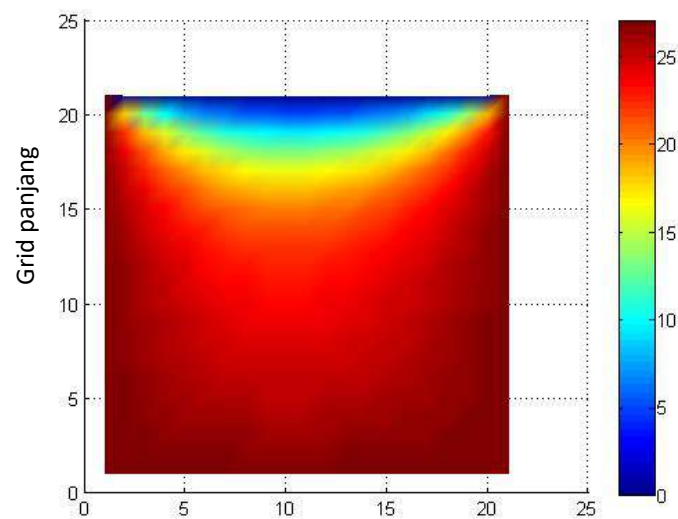
Gambar 6. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan HDPE Suhu 33°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



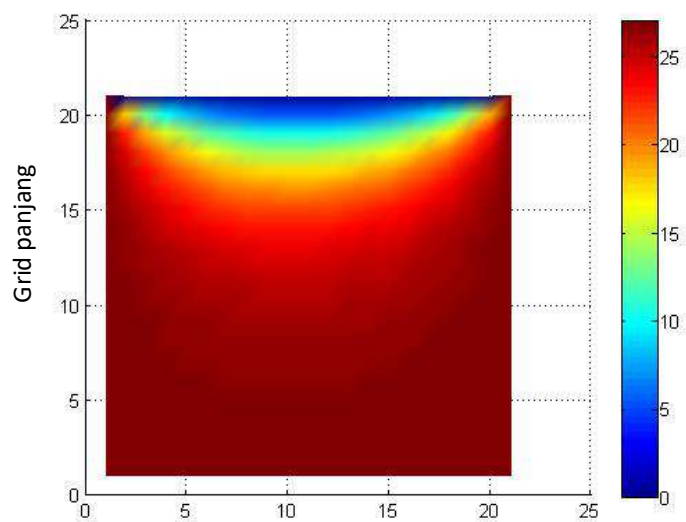
Gambar 7. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan Kaca Suhu 27°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



Grid diameter
(a)

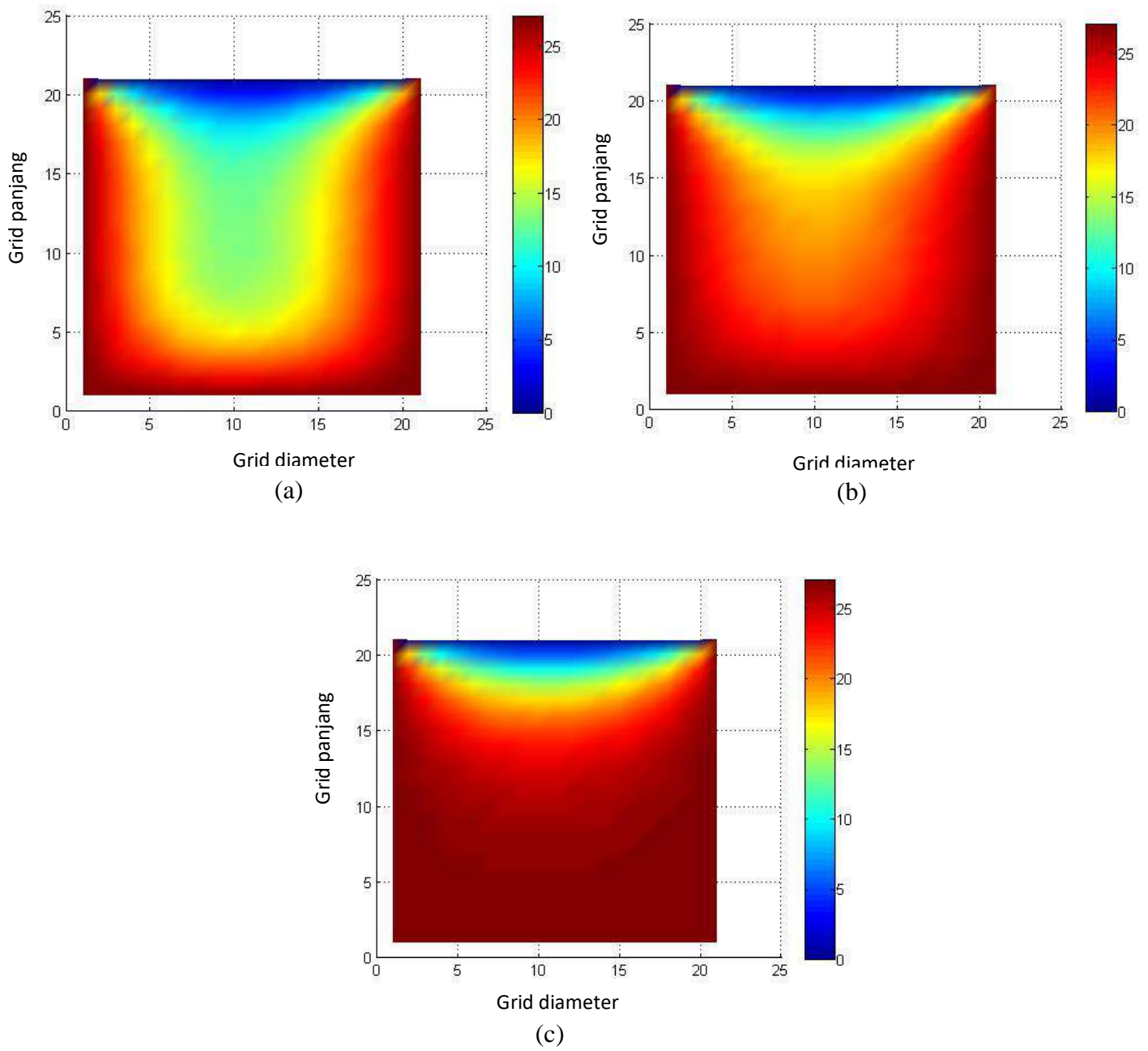


Grid diameter
(b)



Grid diameter
(c)

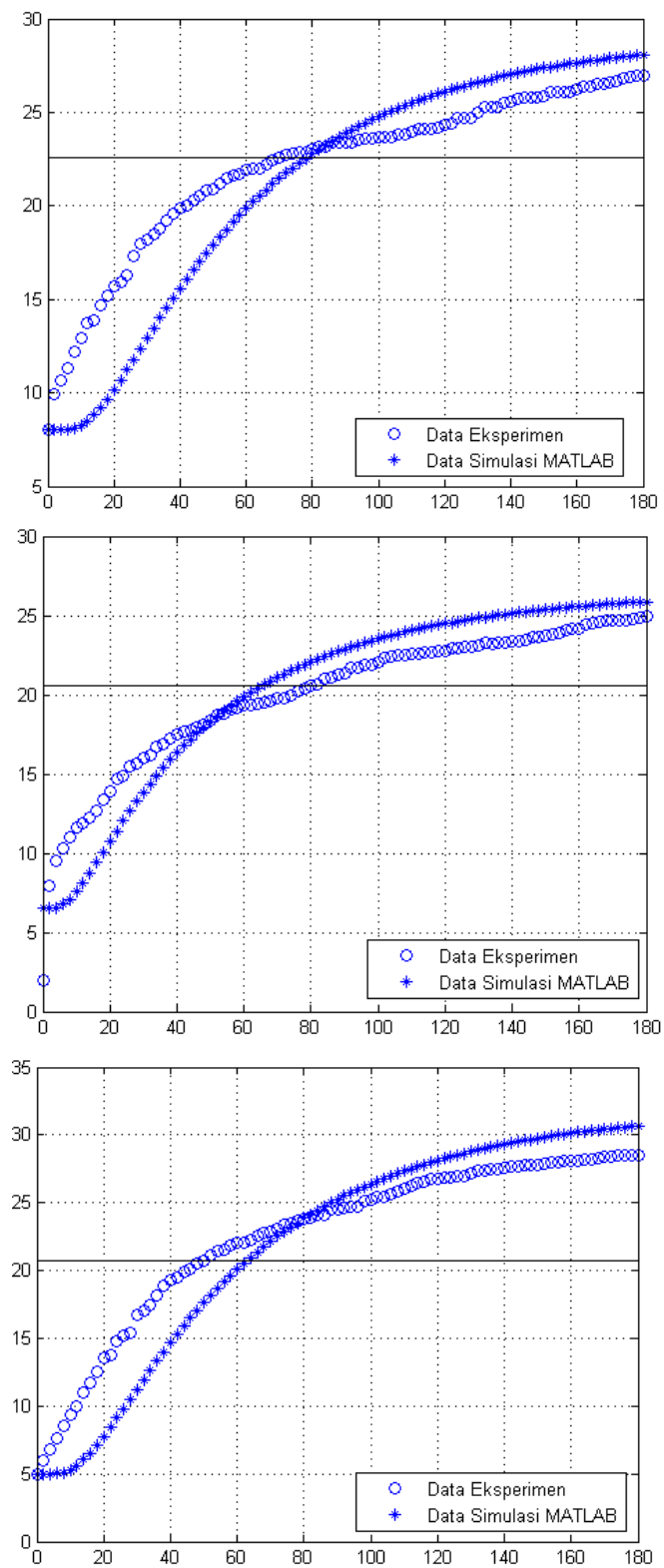
Gambar 8. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan Kaca Suhu 30°C pada Waktu 30, 60,180 Menit



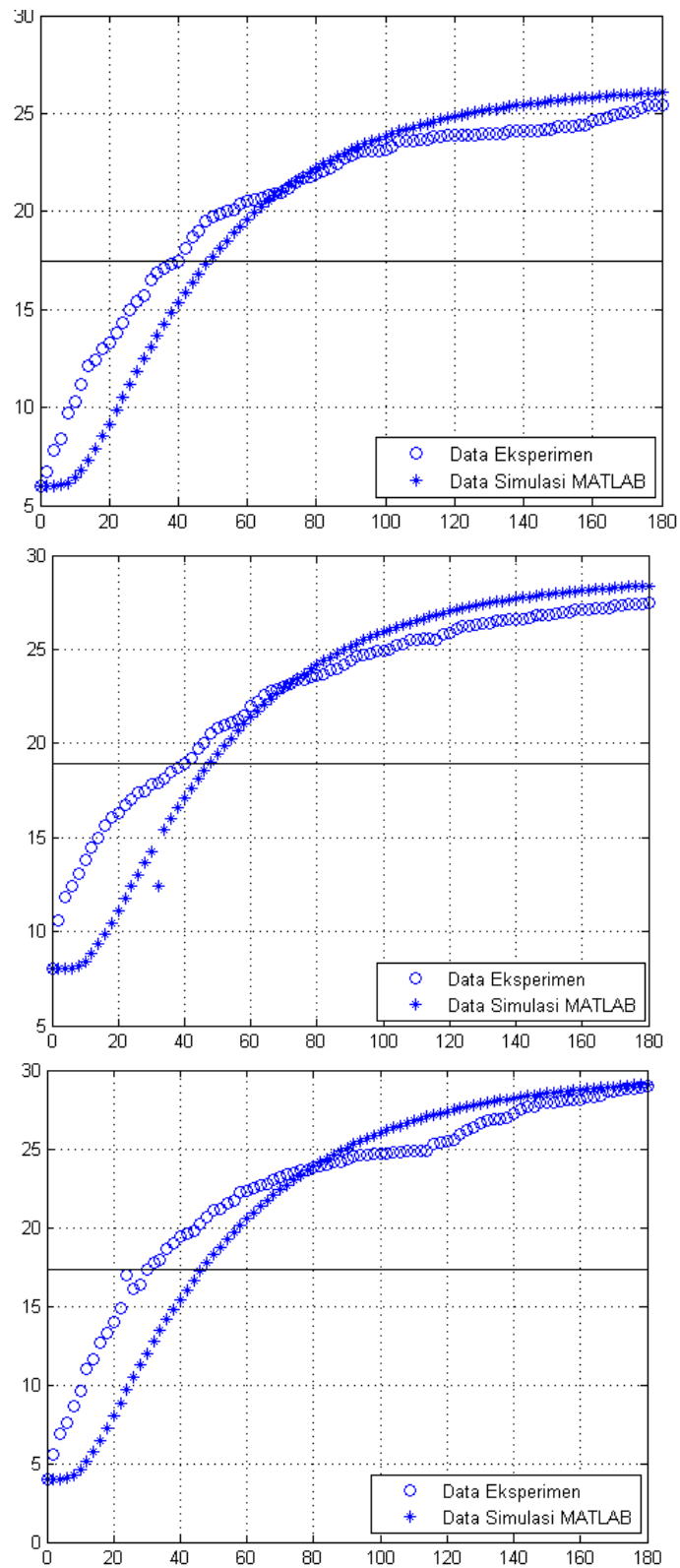
Gambar 9. Hasil Simulasi Yoghurt dalam Kemasan Kaca Suhu 33°C pada Waktu 30, 60, 180 Menit

Lampiran 5

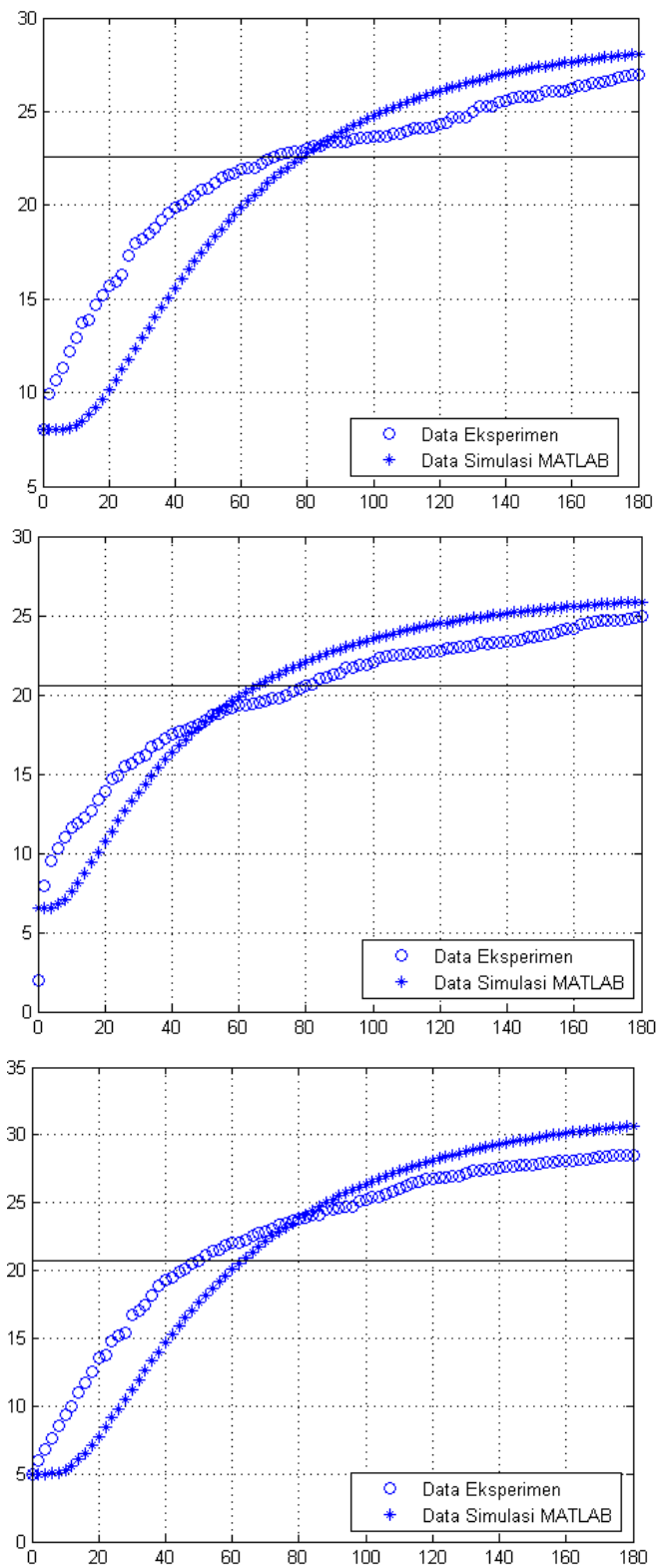
Grafik Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Simulasi



Gambar 10. Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan PET Suhu Lingkungan 27⁰C, 30⁰C dan 33⁰C Dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi



Gambar 11. Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan HDPE Suhu Lingkungan 27⁰C, 30⁰C dan 33⁰C Dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi



Gambar 12. Perbandingan Suhu Yoghurt dalam Kemasan Kaca Suhu Lingkungan 27⁰C, 30⁰C dan 33⁰C Dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN FISIKA**

Gedung B.J. Habibie Lt. 2 Fak. Saintek Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. (0341) 558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : **ADILAH ISTIQOMAH**
NIM : **16640047**
Fakultas/ Jurusan : **Sains dan Teknologi/Fisika**
Judul Skripsi : **Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Yoghurt Dengan Analisis Perpindahan Panas *Finite Difference Method***
Pembimbing I : **Farid Samsu Hananto, M.T.**
Pembimbing II : **Drs. Abdul Basid, M.Si**

No.	Hari/Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	Selasa/31 Maret 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	Jumat/10 April 2020	Konsultasi Bab I, II, dan III	
3	Senin/13 April 2020	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
4	Senin/31 Agustus 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5	Kamis/01 Oktober 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
6	Jumat/16 Oktober 2020	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
7	Senin/01 Februari 2021	Konsultasi Bab IV	
8	Jumat/26 Februari 2021	Konsultasi Bab IV	
9	Kamis/01 April 2021	Konsultasi Kajian Agama	
10	Rabu/14 April 2021	Konsultasi Bab IV dan ACC	
11	Jumat/07 Mei 2021	Konsultasi semua Bab	
12	Senin/10 Mei 2021	Konsultasi semua Bab dan ACC	

Malang, 21 Juni 2021

Mengetahui,
Dekan Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
19650504 199003 1 003

